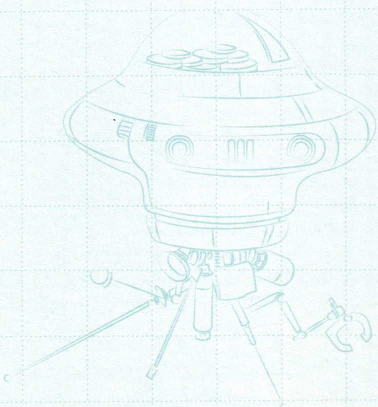
小猿书社

宁鹏程 / 编著

满分之路

搞定力学

攻克力学，这一本就够了



高中物理

PHYSICS

沈阳出版发行集团
沈阳出版社

目 录

必修1

第一章　直线运动 …… 1

第一讲　运动的描述 …… 1

第二讲　匀变速直线运动规律 …… 5

第三讲　运动图象　追及、相遇问题 …… 15

第二章　相互作用 …… 25

第一讲　重力、弹力、摩擦力 …… 25

第二讲　力的合成与分解 …… 30

第三讲　受力分析　共点力的平衡 …… 35

第三章　牛顿运动定律 …… 43

第一讲　牛顿第一定律、牛顿第三定律 …… 43

第二讲　牛顿第二定律、两类动力学问题 …… 48

第三讲　牛顿运动定律的综合应用 …… 58

必修2

第四章　曲线运动　万有引力 …… 71

第一讲　运动的合成与分解 …… 71

第二讲　抛体运动 …… 79

第三讲　圆周运动 …… 92

第四讲　万有引力及其应用 …… 104

第五章　机械能 …… 115

第一讲　功和功率 …… 115

第二讲　动能定理 …… 123

第三讲　机械能守恒定律及其应用 …… 137

第四讲　功能关系及其应用 …… 148

答案与解析 …… 159

必修1　第一章　直线运动

第一讲　运动的描述

内容导读

参考系、位移、时间、时刻、速度和加速度等都是描述物体运动的基础.

典例剖析

【例1】2016年第31届夏季奥运会在巴西里约热内卢举行. 下列比赛中可把研究对象看成质点的是　　(　　)

A. 研究苏炳添在100米短跑比赛时的起跑技术

B. 研究乒乓球男子单打冠军马龙的发球动作

C. 研究跳水女子3米板冠军施廷懋的跳水动作

D. 研究女子50米步枪三姿比赛中杜丽射出的子弹轨迹

●解析

[答案]　D

[分析]

质点是理想化的物理模型,当物体的大小和形状对研究的问题没有影响或影响很小可忽略不计时,物体可以看做质点,研究苏炳添在100米短跑比赛时的起跑技术,马龙的发球动作,施廷懋的跳水动作,他们的形状不能忽略,故不能看成质点;而研究杜丽射出的子弹轨迹时,子弹的大小、形状可以忽略,故D正确.

[小结]

当物体的大小和形状对物理问题的研究没有影响或影响很小可忽略不计时,我们可以把物体看做一个点.

【例 2】下面关于瞬时速度和平均速度的说法中正确的是 ( )

A. 若物体在某段时间内任一时刻的瞬时速度都等于零,则它在这段时间内的平均速度一定等于零

B. 若物体在某段时间内的平均速度等于零,则它在这段时间内任一时刻的瞬时速度一定都等于零

C. 匀速直线运动中,物体在任意一段时间内的平均速度等于它任一时刻的瞬时速度

D. 变速直线运动中,物体在任意一段时间内的平均速度一定不等于它在某一时刻的瞬时速度

●解析

[**答案**] AC

[**分析**]

若物体在某段时间内任一时刻的瞬时速度都等于零,则物体静止,平均速度等于零,选项 A 正确;若物体在某段时间内的平均速度等于零,任一时刻的瞬时速度不一定都为零,例如物体做圆周运动运动一周时,平均速度为零,任一时刻的瞬时速度都不为零,选项 B 错误;在匀速直线运动中,物体的速度恒定不变,任一时刻的瞬时速度都相等,都等于任意一段时间内的平均速度,选项 C 正确;在变速直线运动中,物体的速度在不断变化,某一时刻的瞬时速度可能等于某段时间内的平均速度,选项 D 错误.

[**小结**]

平均速度描述物体运动的平均快慢;瞬时速度描述在某一位置或某一时刻的物体运动的快慢.

【例 3】关于速度、速度的变化与加速度的关系,下列说法中正确的是 ( )

A. 速度变化的方向为正,加速度的方向也为正

B. 物体加速度增大,速度一定越来越大

C. 速度越来越大,加速度一定越来越大

D. 加速度可能既不与速度同向,也不与速度反向

●解析

［答案］ AD

［分析］

由加速度的定义可知，速度变化的方向为正，加速度的方向为正，选项 A 正确；物体做减速运动时，物体加速度增大，速度反而越来越小，选项 B 错误；若物体做加速度逐渐减小的加速运动，速度越来越大，加速度反而越来越小，选项 C 错误；在曲线运动中，加速度既不与速度同向，也不与速度反向，可以与速度方向垂直，选项 D 正确.

［小结］

物体做加速直线运动，物体的速度方向和加速度方向相同；物体做减速直线运动，物体的速度方向和加速度方向相反；加速度大，说明物体的速度变化得快，即可能是速度增加（减小）得快，也可能是速度方向变化得快.

章节练习

1. 2018 年第 18 届亚洲运动会在印度尼西亚举行，本届亚运会包括 28 个奥运项目和 8 个非奥运项目. 关于下列几种比赛项目中的研究对象，可以视为质点的是 （　　）

A. 研究跳水比赛中选手在空中的动作时

B. 确定帆船比赛中帆船在水面上的位置时

C. 研究乒乓球比赛中选手发出的旋转球时

D. 100 米短跑中终点裁判在分析运动员冲线过程时

2. 某校高一的新同学分别乘坐甲、乙两辆汽车去市公园游玩，两辆汽车在平直公路上运动. 甲车内一同学看见乙车没有运动，而乙车内一同学看见路旁的树木向西移动. 如果以地面为参考系，那么，上述观察说明 （　　）

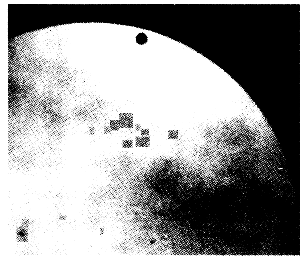
A. 甲车不动，乙车向东运动

B. 乙车不动，甲车向东运动

C. 甲车向西运动，乙车向东运动

D. 甲、乙两车以相同的速度都向东运动

3. 在“金星凌日”的精彩天象中，观察到太阳表面上有颗小黑点缓慢走过，持续时间达六个半小时，那便是金星，如图所示. 下列说法中正确的是　　(　　)



A. 地球在金星与太阳之间

B. 观测“金星凌日”时可将太阳看成质点

C. 以太阳为参考系，金星绕太阳一周位移不为零

D. 以太阳为参考系，可以认为金星是运动的

4. 关于做直线运动的质点的速度、速度的变化量和加速度，下列说法中正确的是　　(　　)

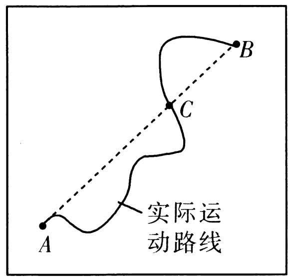
A. 质点的速度越大，加速度就越大

B. 质点的速度变化量越大，加速度就越大

C. 质点的速度在增大，加速度可能在减小

D. 质点在某段时间内的速度变化量向西，加速度可能向东

5. 如图所示，某赛车手在一次野外训练中，先用地图计算出出发地 A 和目的地 B 的直线距离为 9 km，实际从 A 运动到 B 用时 5 min，赛车上的里程表指示的里程数增加了 15 km. 当他经过某路标 C 时，车内速度计指示的示数为 150 km/h，那么可以确定的是　　(　　)



A. 整个过程中赛车的平均速度为 180 km/h

B. 整个过程中赛车的平均速度为 108 km/h

C. 赛车经过路标 C 时的瞬时速度为 150 km/h

D. 赛车经过路标 C 时速度方向为由 A 指向 B

6. 一质点沿直线 Ox 方向做变速运动，它离开 O 点的距离 x 随时间 t 变化的关系为 $x=(5+2t^3)$ m，它的速度随时间 t 变化的关系为 $v=6t^2$ (m/s)，该质点在 $t=2$ s 时的速度和 $t=2$ s 到 $t=3$ s 间的平均速度的大小分别为　　(　　)

A. 12 m/s　39 m/s　　B. 24 m/s　38 m/s

C. 12 m/s　19.5 m/s　　D. 24 m/s　13 m/s

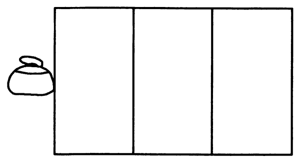
第二讲 匀变速直线运动规律

内容导读

匀变速直线运动规律是高中力学知识的基础,在历年高考中的选择题中均有考查,在计算题中也有考查,计算题中主要考查匀变速直线运动规律的应用.

典例剖析

【例1】如图所示,一冰壶以速度 v 垂直进入三个矩形区域做匀减速直线运动,且刚要离开第三个矩形区域时速度恰好为零,则冰壶依次进入每个矩形区域时的速度之比和穿过每个矩形区域所用的时间之比分别是 ( )



A. $v_1:v_2:v_3=3:2:1$　　B. $v_1:v_2:v_3=\sqrt{3}:\sqrt{2}:1$

C. $t_1:t_2:t_3=1:\sqrt{2}:\sqrt{3}$　　D. $t_1:t_2:t_3=(\sqrt{3}-\sqrt{2}):(\sqrt{2}-1):1$

●解析

[答案] BD

[分析]

因为冰壶做匀减速直线运动,且末速度为零,故可以看做反向匀加速直线运动来研究. 初速度为零的匀加速直线运动中通过连续三段相等位移的时间之比为 $1:(\sqrt{2}-1):(\sqrt{3}-\sqrt{2})$,故所求时间之比为 $(\sqrt{3}-\sqrt{2}):(\sqrt{2}-1):1$,故选项C错误、D正确;由 $v^2-v_0^2=2ax$ 可得初速度为零的匀加速直线运动中通过连续相等位移的速度之比为 $1:\sqrt{2}:\sqrt{3}$,则所求的速度之比为 $\sqrt{3}:\sqrt{2}:1$,故选项A错误、B正确.

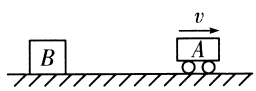
● 解析

［小结］

刹车类问题的处理技巧——逆向思维法的应用.

刹车类问题:指匀减速到速度为零后即停止运动,加速度 a 突然消失,求解时要注意确定其实际运动时间. 如果问题涉及最后阶段(到停止)的运动,可把该阶段看成反向的初速度为零、加速度不变的匀加速直线运动.

【例 2】测速仪安装有超声波发射和接收装置,如图所示,B 为测速仪,A 为汽车,两者相距 335 m. 某时刻 B 发出超声波,同时 A 由静止开始做匀加速直线运动. 当 B 接收到反射回来的超声波信号时 A、B 相距 355 m,已知声速为 340 m/s,则下列说法正确的是 (　　)



A. 经过 2 s B 接收到返回的超声波

B. 超声波追上 A 车时,A 车前进了 10 m

C. A 车加速度的大小为 10 m/s^2

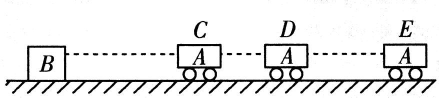
D. A 车加速度的大小为 5 m/s^2

● 解析

［答案］ AC

［分析］

从 B 发出超声波到接收到超声波过程中,汽车 A 的运动情况如图所示:



B 发出超声波时,小车在 C 位置

小车反射超声波时,小车在 D 位置

B 接收到反射回来的超声波时,小车在 E 位置

经分析可知:$t_{CD}=t_{DE}$,$x_{CE}=20$ m

● 解析

由运动学规律得 x_{CD} ∶ $x_{DE}=1$ ∶ 3

所以 $x_{CD}=5\ \text{m}$，$x_{DE}=15\ \text{m}$，$t_{CD}=\dfrac{335+5}{340}\ \text{s}=1\ \text{s}$

可见 B 接收到返回的超声波需 2 s

对小车 A：$\Delta x=at_{CD}^2$

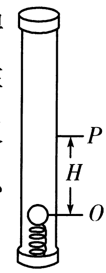
所以 $a=10\ \text{m/s}^2$

由以上可知选项 A、C 正确.

［**小结**］

在求解运动学问题时，画好草图，寻找几何关系是解题的关键.

【例 3】如图所示是一种较精确测重力加速度 g 值的方法的示意图：将下端装有弹射装置的真空玻璃直管竖直放置，玻璃管足够长，小球竖直向上被弹出，在 O 点与弹簧分离，上升到最高点后返回. 在 O 点正上方选取一点 P，利用仪器精确测得 OP 间的距离为 H，从 O 点出发至返回 O 点的时间间隔为 T_1，小球两次经过 P 点的时间间隔为 T_2，求：



(1) 重力加速度 g；

(2) 当 O 点距离管底部的距离为 L_0 时，玻璃管的最小长度.

● 解析

［**答案**］ (1) $\dfrac{8H}{T_1^2-T_2^2}$ (2) $L_0+\dfrac{T_1^2H}{T_1^2-T_2^2}$

［**分析**］

(1) 小球从 O 点上升到最大高度过程中

$h_1=\dfrac{1}{2}g\left(\dfrac{T_1}{2}\right)^2$，

小球从 P 点上升到最大高度过程中

$h_2=\dfrac{1}{2}g\left(\dfrac{T_2}{2}\right)^2$，

●解析

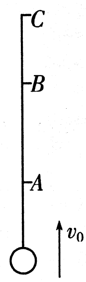
依据题意得 $h_1 - h_2 = H$,

联立解得 $g = \dfrac{8H}{T_1^2 - T_2^2}$.

(2)真空管的最小长度 $L = L_0 + h_1$,

故 $L = L_0 + \dfrac{T_1^2 H}{T_1^2 - T_2^2}$.

[小结]



竖直上抛运动的重要特性(如图所示):

①对称性

a. 时间对称:物体上升过程中从 $A \to C$ 所用时间 t_{AC} 和下降过程中从 $C \to A$ 所用时间 t_{CA} 相等,同理 $t_{AB} = t_{BA}$.

b. 速度对称:物体上升过程经过 A 点的速度与下降过程经过 A 点的速度大小相等.

②多解性:当物体经过抛出点上方某个位置时,可能处于上升阶段,也可能处于下降阶段,造成多解,在解决问题时要注意这个特性.

章节练习

1. 具有完全自主知识的中国标准动车组“复兴号”,于 2017 年 6 月 26 日在京沪高铁双向首发. 动车匀减速进站时,小明站在站台上,发现连续两节动车车厢经过自己所用的时间分别为 $t_1 = 2$ s 和 $t_2 = 5$ s,动车每节车厢长 $L = 25$ m,则动车进站时的加速度大小为 ( )

A. $\dfrac{15}{7}$ m/s^2

B. $\dfrac{21}{20}$ m/s^2

C. 2 m/s^2

D. $\dfrac{35}{7}$ m/s^2

2. 有一喷泉,喷水管口的横截面积为 S,流量(单位时间内流出的水的体积)为 Q. 已知水的密度为 ρ,重力加速度为 g. 假设喷出的水做竖直上抛运动,不计水流之间的相互作用和空气阻力的影响,则空中水的质量为 ( )

A. $\frac{\rho Q^2}{gS}$　　B. $\frac{2\rho Q^2}{gS}$

C. $\frac{\rho Q^2}{2gS}$　　D. $\frac{4\rho Q^2}{gS}$

3. 某质点做匀加速直线运动,在速度由 v_0 变为 $kv_0(k>1)$ 的过程中,用时为 t,质点的位移大小为 x,则在随后的 $4t$ 时间内,质点的位移大小为 ( )

A. $\frac{8(3k-2)x}{k+1}$　　B. $\frac{2(3k-2)x}{k+1}$

C. $\frac{4(5k-4)x}{k+1}$　　D. $\frac{(5k-4)x}{k+1}$

4. 质点由静止从 A 点出发沿直线 AB 运动,行程的第一阶段是加速度大小为 a_1 的匀加速运动,接着做加速度大小为 a_2 的匀减速运动,到达 B 点时恰好速度减为零. 若 AB 间总长度为 s,则质点从 A 到 B 所用时间 t 为 ( )

A. $\sqrt{\frac{s(a_1+a_2)}{a_1a_2}}$　　B. $\sqrt{\frac{2s(a_1+a_2)}{a_1a_2}}$

C. $\frac{2s(a_1+a_2)}{a_1a_2}$　　D. $\sqrt{\frac{a_1a_2}{2s(a_1+a_2)}}$

5. 一个做匀变速直线运动的质点,初速度为 0.5 m/s,第 9 s 内的位移比第 5 s 内的位移多 4 m,则该质点的加速度、9 s 末的速度和质点在 9 s 内通过的位移分别是 ( )

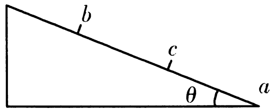
A. $a=1\ \text{m/s}^2, v_9=9\ \text{m/s}, x_9=40.5\ \text{m}$

B. $a=1\ \text{m/s}^2, v_9=9\ \text{m/s}, x_9=45\ \text{m}$

C. $a=1\ \text{m/s}^2, v_9=9.5\ \text{m/s}, x_9=45\ \text{m}$

D. $a=0.8\ \text{m/s}^2, v_9=7.7\ \text{m/s}, x_9=36.9\ \text{m}$

6. 一物块以一定的初速度从光滑斜面底端 a 点上滑，最高可滑至 b 点，后又滑回至 a 点，c 是 ab 的中点，如图所示，已知物块从 a 点上滑至 b 点所用时间为 t，下列分析中正确的是 (　　)



A. 物块从 c 点运动到 b 点所用的时间等于从 b 点运动到 c 点所用的时间

B. 物块上滑过程的加速度与下滑过程的加速度等大反向

C. 物块下滑时从 b 点运动至 c 点所用时间为 $\frac{\sqrt{2}}{2}t$

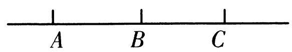
D. 物块上滑通过 c 点时的速度大小等于整个上滑过程中平均速度的大小

7. 一物体以 5 m/s 的初速度在光滑斜面上向上运动，其加速度大小为 2 m/s^2，设斜面足够长，经过 t 时间物体位移的大小为 4 m，则时间 t 可能为 (　　)

A. 1 s　　B. 3 s

C. 4 s　　D. $\frac{5+\sqrt{41}}{2}$ s

8. 如图所示，一物体做匀加速直线运动，依次经过 A、B、C 三点，其中 B 是 AC 的中点. 已知物体在 AB 段的平均速度大小为 3 m/s，在 BC 段的平均速度大小为 6 m/s，则物体经过 B 点时的速度大小是 (　　)



A. 4 m/s　　B. 4.5 m/s

C. 5 m/s　　D. 5.5 m/s

9. 在一平直路段检测某品牌汽车的运动性能时，以路段的起点作为 x 轴的原点，通过传感器发现汽车刹车后的坐标 x 与时间 t 的关系满足 $x=30t-5t^2$(m)，下列说法中正确的是 (　　)

A. 汽车刹车过程的初速度大小为 30 m/s，加速度大小为 10 m/s^2

B. 汽车刹车过程的初速度大小为 30 m/s，加速度大小为 5 m/s^2

C. 汽车刹车过程的初速度大小为 60 m/s，加速度大小为 5 m/s^2

D. 汽车刹车过程的初速度大小为 60 m/s，加速度大小为 2.5 m/s^2

10. 水平面上一物体从静止开始，沿直线先做匀加速直线运动，3 s 后接着又做匀减速直线运动，再经 9 s 停止. 在先后加速和减速的两个运动过程中 ( )

A. 加速度大小之比为 3 ∶ 1

B. 平均速度大小之比为 1 ∶ 1

C. 位移大小之比为 1 ∶ 1

D. 位移大小之比为 1 ∶ 3

11. 一质点做匀加速直线运动时，速度变化 Δv 时发生位移 x_1，紧接着速度变化同样的 Δv 时发生位移 x_2，则该质点的加速度为 ( )

A. $(\Delta v)^2\left(\frac{1}{x_1}+\frac{1}{x_2}\right)$

B. $2\frac{(\Delta v)^2}{x_2-x_1}$

C. $(\Delta v)^2\left(\frac{1}{x_1}-\frac{1}{x_2}\right)$

D. $\frac{(\Delta v)^2}{x_2-x_1}$

12. 给滑块一初速度 v_0 使它沿光滑斜面向上做匀减速运动，加速度大小为$\frac{g}{2}$，当滑块速度大小减为 $\frac{v_0}{2}$ 时，所用时间可能是 ( )

A. $\frac{v_0}{2g}$

B. $\frac{v_0}{g}$

C. $\frac{3v_0}{g}$

D. $\frac{3v_0}{2g}$

13. 物体以速度 v 匀速通过直线上的 A、B 两点，所用时间为 t，现在物体从 A 点由静止出发，先做匀加速直线运动(加速度大小为 a_1)到某一最大速度 v_m，然后立即做匀减速直线运动(加速度大小为 a_2)至 B 点速度恰好减为零，所用时间仍为 t，则物体的 ( )

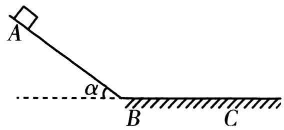
A. v_m 只能为 $2v$，与 a_1、a_2 的大小无关

B. v_m 可为许多值，与 a_1、a_2 的大小有关

C. a_1、a_2 必须是一定的

D. a_1、a_2 必须满足$\frac{a_1a_2}{a_1+a_2}=\frac{2v}{t}$

14. 如图所示，$t=0$ 时，质量为 0.5 kg 的物体从光滑斜面上的 A 点由静止开始下滑，经过 B 点后进入水平面（经过 B 点前后速度大小不变），最后停在 C 点. 每隔 2 s 物体的瞬时速度记录在下表中，重力加速度 $g=10\ m/s^2$，则下列说法中正确的是（　　）



t/s	0	2	4	6
$v/(m\cdot s^{-1})$	0	8	12	8

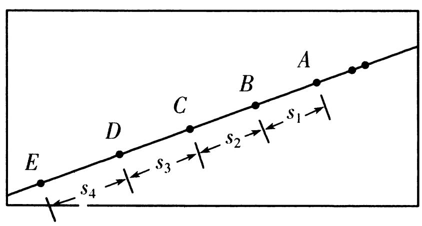
A. $t=3$ s 的时刻物体恰好经过 B 点

B. $t=10$ s 的时刻物体恰好停在 C 点

C. 物体运动过程中的最大速度为 12 m/s

D. A、B 间的距离小于 B、C 间的距离

15. 一小球沿光滑斜面向下运动，用每隔 0.1 s 曝光一次的频闪照相机拍摄下不同时刻小球的位置照片如图所示，选小球的五个连续位置 A、B、C、D、E 进行测量，测得距离 s_1、s_2、s_3、s_4 的数据如表格所示.（计算结果保留三位有效数字）

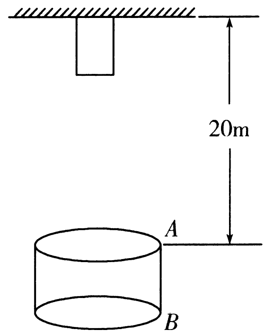


s_1(cm)	s_2(cm)	s_3(cm)	s_4(cm)
8.20	9.30	10.40	11.50

（1）小球沿斜面下滑的加速度大小为________ m/s^2.

（2）根据以上数据可知小球在位置 A 的速度是________m/s.

16. 如图所示，木杆长 5 m，上端固定在某一点，由静止放开后让它自由落下（不计空气阻力），木杆通过悬点正下方 20 m 处圆筒 AB，圆筒 AB 高为 5 m，取 $g=10\ \mathrm{m/s^2}$，求：

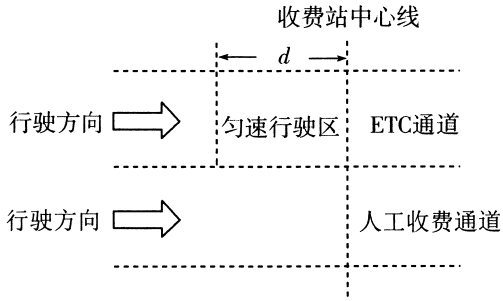


（1）木杆经过圆筒的上端 A 所用的时间 t_1 是多少？

（2）木杆通过圆筒 AB 所用的时间 t_2 是多少？

17. 一个物体从静止开始以加速度 a_1 做匀加速直线运动，经过时间 t 改为做加速度大小为 a_2 的减速运动，又经过时间 t 物体回到开始位置，求两个加速度大小之比 $\frac{a_1}{a_2}$.

18. ETC在我国发展迅猛，在2015年，我国29个省（市、区）就成功联网运行. 汽车分别通过ETC通道和人工收费通道的流程如图所示. 假设汽车以正常行驶速度 $v_1=14\ \mathrm{m/s}$ 朝收费站沿直线行驶，如果过ETC通道，需要在距收费站中心线前 $d=8\ \mathrm{m}$ 处正好匀减速至 $v_2=4\ \mathrm{m/s}$，匀速通过中心线后，再匀加速至 v_1 正常行驶；如果过人工收费通道，需要恰好在中心线处匀减速至零，经过 $t_0=25\ \mathrm{s}$ 缴费成功后，再启动汽车匀加速至 v_1 正常行驶. 设汽车在减速和加速过程中的加速度大小分别为 $a_1=2\ \mathrm{m/s^2}$ 和 $a_2=1\ \mathrm{m/s^2}$. 求：



(1)汽车过ETC通道时，从开始减速到恢复正常行驶过程中的位移大小.

(2)汽车通过ETC通道比通过人工收费通道速度再达到 v_1 时节约的时间 Δt 是多少？

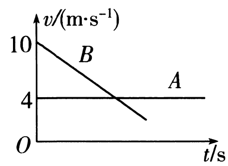
第三讲 运动图象 追及、相遇问题

内容导读

本讲是匀变速直线运动规律和运动学图象的综合应用,为高考必考内容,多以选择题形式命题;学好本讲,可以提高同学们通过画运动情景示意图和 $v-t$ 图象分析和解决运动学问题的能力;用到的知识有:$x-t$ 图象和 $v-t$ 图象的理解,匀变速直线运动的规律,临界条件的确定,极值思想等数学方法.

典例剖析

【例1】A、B 两个物体在水平面上沿同一直线运动,它们的 $v-t$ 图象如图所示. 在 $t=0$ 时刻,B 在 A 的前面,两物体相距 7 m,B 物体做匀减速运动的加速度大小为 2 m/s^2. 则 A 物体追上 B 物体所用时间是 ( )



A. 5 s　　B. 6.25 s

C. 7 s　　D. 8 s

解析

[答案] D

[分析]

B 车减速到零所需的时间 $t=\dfrac{0-v_B}{a}=\dfrac{0-10}{-2}$ s $=5$ s

$x_B=\dfrac{1}{2}(v_B+0)t=\dfrac{1}{2}\times 10\times 5$ m $=25$ m

A 车在 5 s 内的位移 $x_A=v_At=4\times 5$ m $=20$ m

●解析

$x_A < x_B + 7$，所以 B 车在停止运动后被追上

设 A 物体追上 B 物体所用时间为 t_0，则

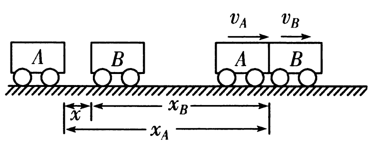
$v_A t_0 = (7+25)$ m

$t_0 = \frac{32}{4}$ s $= 8$ s，故选项 D 正确.

[**小结**]

在求解物体做匀减速直线运动的问题时，要考虑物体在什么时候停止运动.

【例 2】在水平道路上有两辆汽车 A 和 B 相距 x，A 车在后面做初速度大小为 v_0、加速度大小为 $2a$ 的匀减速直线运动，而同时 B 车做初速度为零、加速度大小为 a 的匀加速直线运动，两车运动方向相同，如图，要使两车不相撞，求 A 车的初速度 v_0 满足什么条件.



●解析

[**答案**] $v_0 \leqslant \sqrt{6ax}$

[**分析**] **解法一：解方程法**

A、B 两车的运动过程如题图所示.

对 A 车，有 $x_A = v_0 t - \frac{1}{2} \times 2at^2$，$v_A = v_0 - 2at$

对 B 车，有 $x_B = \frac{1}{2}at^2$，$v_B = at$

两车恰好不相撞的条件是：当 $x = x_A - x_B$ 时，$v_A = v_B$，

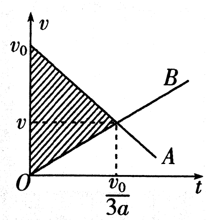
联立以上各式解得 $v_0 = \sqrt{6ax}$，故要使两车不相撞，A 车的初速度 v_0 应满足的条件是 $v_0 \leqslant \sqrt{6ax}$.

● 解析

解法二：判别式法

设 A 车经过时间 t 追上 B 车，两车的位移关系为 $x=x_A-x_B$，即 $v_0t-\frac{1}{2}\times 2at^2=x+\frac{1}{2}at^2$，整理得 $3at^2-2v_0t+2x=0$，这是一个关于时间 t 的一元二次方程，当判别式 $\Delta=(-2v_0)^2-4\cdot 3a\cdot 2x<0$ 时，t 无实数解，即两车不相撞，所以要使两车不相撞，A 车的初速度 v_0 应满足的条件是 $v_0\leqslant\sqrt{6ax}$.

解法三：图象法



先作出 A、B 两车的 $v-t$ 图象，如图所示. 设经过时间 t 两车刚好不相撞，则：

对 A 车，有 $v_A=v=v_0-2at$；对 B 车，有 $v_B=v=at$，解得 $t=\frac{v_0}{3a}$

两车相遇时的位移差等于 x，它可用图中的阴影面积表示，由图象可知 $x=\frac{1}{2}v_0t=\frac{v_0^2}{6a}$，所以要使两车不相撞，$A$ 车的初速度 $v_0\leqslant\sqrt{6ax}$.

解法四：相对运动法

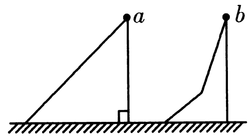
以 B 车为参考系，A 车的初速度为 v_0，加速度为 $a'=-2a-a=-3a$，A 车追上 B 车且刚好不相撞的条件是 $v_t=0$，这一过程 A 车相对于 B 车的位移为 x，由运动学公式得 $-v_0^2=2\times(-3a)x$，所以 $v_0=\sqrt{6ax}$，即要使两车不相撞，A 车的初速度 v_0 应满足的条件是 $v_0\leqslant\sqrt{6ax}$.

●解析

[小结]

当两个物体在同一条直线上运动时,由于两物体的运动情况不同,所以两物体之间的距离会不断发生变化,就会涉及追及、相遇或避免碰撞等问题.若后者能追上前者,则追上时,两者处于同一位置,后者的速度一定不小于前者的速度;若后者追不上前者,则当后者的速度与前者的速度相等时,两者相距最近.

【例3】如图所示,两光滑斜面的总长度相等,高度也相同,a、b 两球由静止从顶端下滑,若球在图上转折点无能量损失,则 (　　)



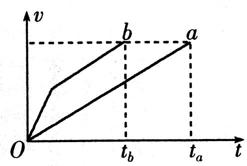
A. a 球后着地　　B. b 球后着地

C. 两球同时落地　　D. 两球着地时速度相同

●解析

[答案] A

[分析]



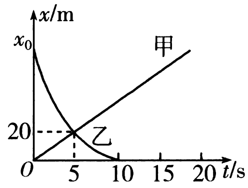
在同一个 $v-t$ 图象中作出 a、b 的速率－时间图线如图所示,由于开始运动时 b 的加速度较大,则斜率较大;由机械能守恒可知末速率相同,故图线末端在同一水平线上,由于两斜面长度相同,则应使图线与 t 轴围成的“面积”相等.结合图中图线特点可知 b 用的时间较少,由此可知 A 正确,B、C、D 错误.

[小结]

对于两个质点分别以不同的加速度运动,比较运动快慢问题时可作速度(速率)－时间图象进行辅助分析,此时根据图象“面积”相等这一特征比较时间长短;所描述的物理量做非线性变化时,可先构建一个物理量与另一物理量的线性变化关系图象,如“反比关系可转化为与倒数成正比”,然后应用“面积”含义或斜率的含义即可求解具体问题.

章节练习

1. 甲、乙两车在同一条直道上行驶，它们运动的位移 x 随时间 t 变化的关系图象如图所示. 已知乙车做匀变速直线运动，其图线与 t 轴相切于 10 s 处. 则下列说法中正确的是（　　）



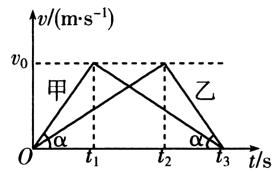
A. 甲车的初速度为零

B. 乙车的初位置在 $x_0=60$ m 处

C. 乙车的加速度大小为 1.6 m/s^2

D. 5 s 时两车相遇，此时甲车速度较大

2. 如图所示为甲、乙两质点做直线运动的速度－时间图象，则下列说法中正确的是（　　）



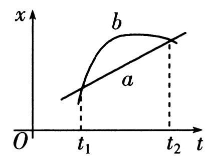
A. 在 $0\sim t_3$ 时间内甲、乙两质点的平均速度相等

B. 甲质点在 $0\sim t_1$ 时间内的加速度与乙质点在 $t_2\sim t_3$ 时间内的加速度相同

C. 甲质点在 $0\sim t_1$ 时间内的平均速度小于乙质点在 $0\sim t_2$ 时间内的平均速度

D. 在 t_3 时刻，甲、乙两质点都回到了出发点

3. 如图，直线 a 和曲线 b 分别是在平直公路上行驶的汽车 a 和 b 的位移－时间（$x-t$）图象，由图可知（　　）



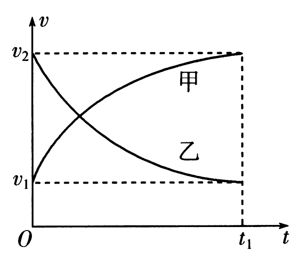
A. 在时刻 t_1，a 车追上 b 车

B. 在时刻 t_2，a、b 两车运动方向相反

C. 在 t_1 到 t_2 这段时间内，b 车的速率先减小后增大

D. 在 t_1 到 t_2 这段时间内，b 车的速率一直比 a 车的大

4. 甲、乙两汽车在一平直公路上同向行驶，在 $t=0$ 到 $t=t_1$ 的时间内，它们的 $v-t$ 图象如图所示，在这段时间内（　　）



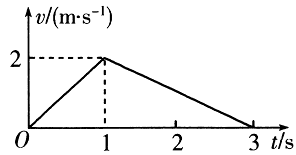
A. 汽车甲的平均速度比乙的大

B. 汽车乙的平均速度等于$\dfrac{v_1+v_2}{2}$

C. 甲、乙两汽车的位移相同

D. 汽车甲的加速度大小逐渐减小，汽车乙的加速度大小逐渐增大

5. 如图所示，为某物体做直线运动的 $v-t$ 图象，由此可知（　　）



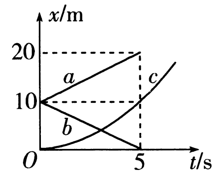
A. 前 1 s 物体的位移大小为 1 m

B. 2 s 末物体的瞬时速度大小为 2 m/s

C. 前 3 s 内物体的加速度大小为 3 m/s

D. 前 3 s 物体做匀变速直线运动

6. 如图所示，a、b、c 三个物体在同一条直线上运动，其位移－时间图象中，图线 c 是一条 $x=0.4t^2$ 的抛物线的一部分. 有关这三个物体在 0 ~ 5 s 内的运动，下列说法中正确的是（　　）



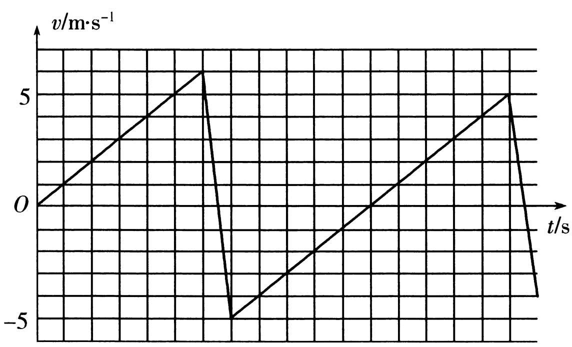
A. a 物体做匀加速直线运动

B. c 物体做匀加速直线运动

C. $t=5$ s 时，a 物体速度比 c 物体速度大

D. a、b 两物体都做匀速直线运动，且速度相同

7. 为了研究小球由静止释放后撞击地面弹跳的规律，小俞同学利用运动传感器采集数据并作出了如图所示的 $v-t$ 图象，小球质量为 0.6 kg，空气阻力不计，重力加速度 $g=10\ m/s^2$，由图可知（　　）



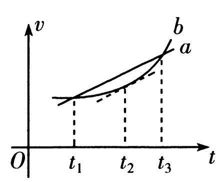
A. 横坐标每一小格表示的时间是 1 s

B. 小球下落的初始位置离地面的高度为 3.6 m

C. 小球第一次反弹的最大高度为 1.25 m

D. 小球第一次反弹的最大高度为 1.20 m

8. 如图所示，直线 a 和曲线 b 分别是在平行的平直公路上行驶的汽车 a 和 b 的速度－时间（$v-t$）图象，在 t_1 时刻两车刚好在同一位置（并排行驶），在 t_1 到 t_3 这段时间内（　　）



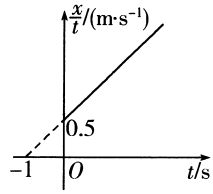
A. 在 t_2 时刻，两车相距最远

B. 在 t_3 时刻，两车相距最远

C. a 车加速度均匀增大

D. b 车加速度先增大后减小

9. 一个物体沿直线运动,从 $t=0$ 时刻开始,物体的位移 x 与运动时间 t 的关系如图所示,由此可知 ( )



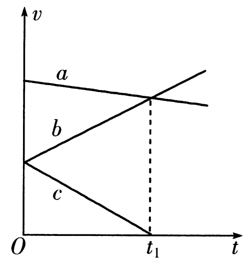
A. 物体做匀加速直线运动

B. 物体做变加速直线运动

C. 物体的初速度大小为 1 m/s

D. 物体的加速度大小为 0.5 m/s^2

10. 在一笔直公路上有 a、b、c 三辆汽车,它们同时经过同一路标开始计时,此后的 $v-t$ 图象如图所示,下列判断中正确的是 ( )



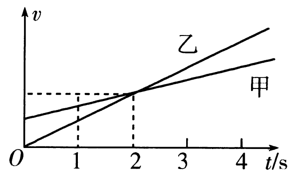
A. 在 t_1 时刻 a、b 速度相等

B. $0\sim t_1$ 时间内,a、b 间距离在减小

C. $0\sim t_1$ 时间内,a 位于 b、c 前面

D. t_1 时刻以后,b 位于 a、c 前面

11. 如图所示为甲、乙两个物体在同一条直线上运动的 $v-t$ 图象,$t=0$ 时两物体相距 $3x_0$,在 $t=1$ s 时两物体相遇,则下列说法中正确的是 ( )



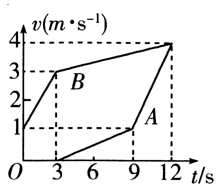
A. $t=0$ 时,甲物体在前,乙物体在后

B. $t=2$ s 时,两物体再次相遇

C. $t=4$ s 时,两物体再次相遇

D. $t=4$ s 时,甲物体在乙物体后 $3x_0$ 处

12. 两个质点 A、B 放在同一水平面上,从同一位置沿相同方向做直线运动,其运动的 $v-t$ 图象如图所示. 对 A、B 运动情况的分析,下列结论正确的是 ( )



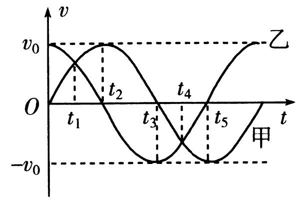
A. 在 6 s 末,质点 A 的加速度大于质点 B 的加速度

B. 在 $0\sim12$ s 时间内,质点 A 的平均速度为 $\frac{7}{6}$ m/s

C. 质点 A 在 $0\sim9$ s 时间内的位移大小等于质点 B 在 $0\sim3$ s 时间内的位移大小

D. 在 12 s 末,A、B 两质点相遇

13. 如图为甲、乙两辆小车从同一地点开始运动的 $v-t$ 图象，甲、乙两条图线分别为正、余弦曲线. 下列说法中正确的是（　　）



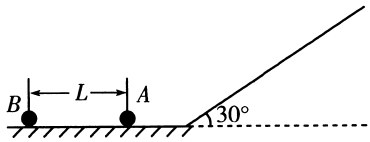
A. t_1 时刻两车加速度相同

B. $0\sim t_2$ 时间内两车发生的位移相同

C. t_3 时刻两车相距最远

D. t_4 时刻两车相距最远

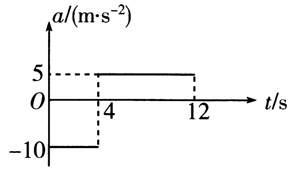
14. 如图所示，在光滑的水平地面上，相距 $L=10$ m 的 A、B 两小球均以 $v_0=10$ m/s 的速度向右运动，随后两球相继滑上倾角为 30°的足够长的光滑斜坡，地面与斜坡平滑连接，取 $g=10$ m/s^2. 求：



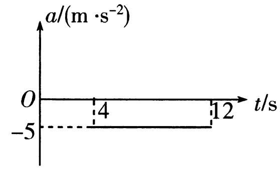
(1) B 球刚要滑上斜坡时 A、B 两球的距离；

(2) A 球滑上斜坡后经过多长时间两球相遇.

15. 高速公路上甲、乙两车在同一车道上同向行驶，甲车在前，乙车在后，速度均为 $v_0=40$ m/s，距离 $x_0=90$ m. $t=0$ 时刻甲车遇紧急情况后，甲、乙两车的加速度随时间变化的情况如图所示，取运动方向为正方向，两车在 0～12 s 内会不会相撞？

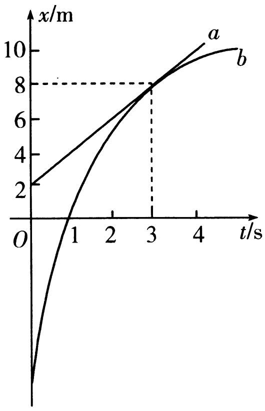


甲



乙

16. 在平直公路上行驶的 a 车和 b 车，其位移－时间图象分别为图中直线 a 和曲线 b，已知 b 车的加速度恒定且 $a=-2\ \mathrm{m/s^2}$，$t=3$ s 时，直线 a 和曲线 b 刚好相切. 求 $t=0$ 时 a 车和 b 车的距离 x_0.



必修 1　第二章　相互作用

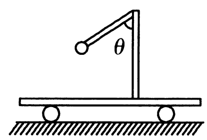
第一讲　重力、弹力、摩擦力

内容导读

重力、弹力和摩擦力是三种性质的力，常在受力分析中出现，我们要倍加关注.

典例剖析

【例 1】如图所示为位于水平面上的小车，固定在小车支架上的斜杆与竖直杆的夹角为 θ，在斜杆的下端固定有质量为 m 的小球. 下列关于杆对球的作用力 F 的判断中，正确的是　　(　　)



A. 小车静止时，$F=mg\sin\theta$，方向沿杆向上

B. 小车静止时，$F=mg\cos\theta$，方向垂直于杆向上

C. 小车向右做匀速运动时，一定有 $F=mg$，方向竖直向上

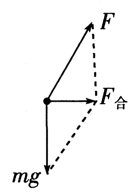
D. 小车向右做匀加速运动时，一定有 $F>mg$，方向可能沿杆向上

•解析

［**答案**］　CD

［**分析**］

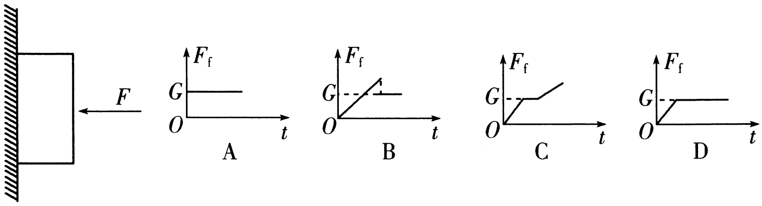
小球受重力和杆的作用力 F 处于静止或匀速运动状态时，由力的平衡条件知，二力必等大反向，即 $F=mg$，方向竖直向上；小车向右做匀加速运动时，小球有向右的恒定加速度，根据牛顿第二定律知，mg 和 F 的合力应水平向右，如图所示，由图可知，$F>mg$，方向可能沿杆向上，故选项 C、D 正确.



［**小结**］

杆的弹力方向不一定沿杆的方向，其大小和方向的判断要根据物体的运动状态来确定，即为了维持物体的状态，由受力平衡或牛顿运动定律求解得到所需弹力的大小和方向，杆就会根据需要提供相应大小和方向的弹力.

【例 2】把一个重为 G 的物体，用一个水平力 $F=kt$（k 为恒量，t 为时间）压在竖直的足够高的平面墙体上，如图所示，则从 $t=0$ 开始物体所受的摩擦力 F_f 随 t 的变化关系是（　　）



●解析

［答案］ B

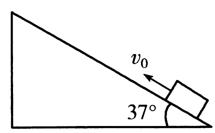
［分析］

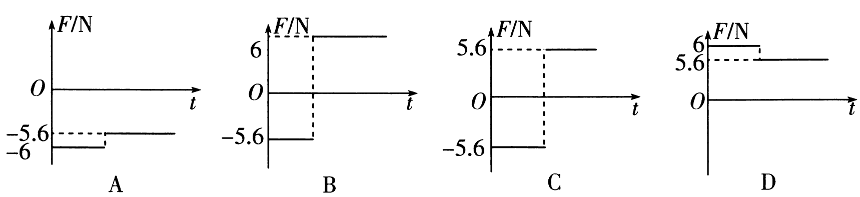
由于物体受的水平压力为 $F=kt$，由二力平衡得，墙与物体间的压力 $F_N=kt$. 当 F 比较小时，物体受到的摩擦力 F_f 小于物体的重力 G，物体将沿墙壁下滑，此时物体间的摩擦力为滑动摩擦力. 由 $F_f=\mu F_N$ 得，滑动摩擦力 $F_f=\mu kt$，当摩擦力 F_f 大小等于重力 G 时，由于惯性作用，物体不能立即停止运动，物体受到的摩擦力仍然是滑动摩擦力. 随着摩擦力的增大，摩擦力将大于重力，物体做减速运动直至静止，摩擦力将变为静摩擦力，静摩擦力与正压力无关，跟重力始终平衡，故 B 正确.

［小结］

抓住“$v=0$”这个突变点是解决问题的关键. “$v=0$”之前摩擦力为滑动摩擦力，按公式 $F=\mu F_N$ 分析，“$v=0$”之后摩擦力为静摩擦力，按二力平衡条件分析.

【例 3】如图所示，斜面固定在地面上，倾角为 37°（sin 37° = 0.6，cos 37° = 0.8）. 质量为 1 kg 的滑块以初速度 v_0 从斜面底端沿斜面向上滑行（斜面足够长，该滑块与斜面间的动摩擦因数为 0.7），则该滑块所受摩擦力 F 随时间变化的图象是下图中的（取初速度 v_0 的方向为正方向，$g=10\ m/s^2$）（　　）





• 解析

［答案］ C

［分析］

滑块上升过程中受到滑动摩擦力作用，由 $F=\mu F_N$ 和 $F_N=mg\cos\theta$ 联立得 $F=5.6$ N，方向为沿斜面向下. 当滑块的速度减为零后，由于重力的分力 $mg\sin\theta>\mu mg\cos\theta$，滑块下滑，滑块受的摩擦力方向为沿斜面向上，故选项 C 正确.

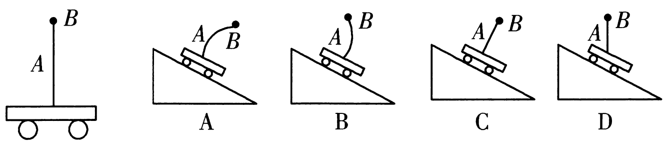
［小结］

用临界法分析摩擦力突变问题的三点注意：

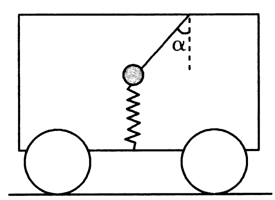
1. 题目中出现“最大”“最小”和“刚好”等关键词时，一般隐藏着临界问题.
2. 静摩擦力是被动力，其存在及大小、方向取决于物体间的相对运动的趋势，而且静摩擦力存在最大值. 存在静摩擦的连接系统，相对滑动与相对静止的临界条件是静摩擦力达到最大值.
3. 研究传送带问题时，物体和传送带的速度相等的时刻往往是摩擦力的大小、方向和运动性质的分界点.

章节练习

1. 小车上固定一根弹性直杆 A，杆顶固定一个小球 B，如图所示，现让小车从光滑斜面上自由下滑，在下列选项所示的情况中杆发生了不同的形变，其中正确的是 (　　)



2. 如图所示，小车内一根轻质弹簧沿竖直方向和一条与竖直方向成 α 角的细绳拴接一小球. 当小车和小球相对静止一起在水平面上运动时，下列说法中正确的是 (　　)



A. 细绳一定对小球有拉力的作用

B. 轻弹簧一定对小球有弹力的作用

C. 细绳不一定对小球有拉力的作用，但是轻弹簧对小球一定有弹力的作用

D. 细绳不一定对小球有拉力的作用，轻弹簧对小球也不一定有弹力的作用

3. 下列关于重力的说法中正确的是 ( )

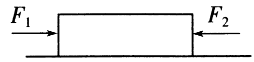
A. 物体只有静止时才受重力作用

B. 重力的方向总是指向地心

C. 地面上的物体在赤道上受的重力最小

D. 物体挂在弹簧测力计下，弹簧测力计的示数一定等于物体的重力

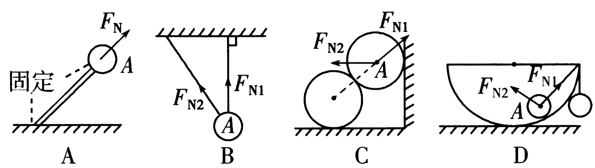
4. 一木块放在水平桌面上，在水平方向上共受到三个力即 F_1、F_2 和摩擦力的作用，木块处于静止状态，如图所示，其中 $F_1=10$ N，$F_2=2$ N，若撤去力 F_1，则木块受到的摩擦力为 ( )



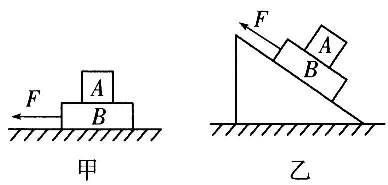
A. 10 N，方向向左　　B. 6 N，方向向右

C. 2 N，方向向右　　D. 0

5. 图中各物体均处于静止状态. 图中画出了小球 A 所受弹力的情况，其中正确的是 ( )



6. 如图所示，物体 A、B 在力 F 作用下一起以大小相等的速度沿力 F 方向匀速运动，关于物体 A 所受的摩擦力，下列说法中正确的是 ( )



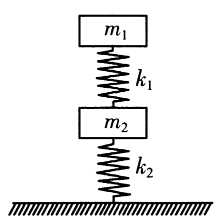
A. 甲、乙两图中物体 A 均受摩擦力，且方向均与力 F 相同

B. 甲、乙两图中物体 A 均受摩擦力，且方向均与力 F 相反

C. 甲、乙两图中物体 A 均不受摩擦力

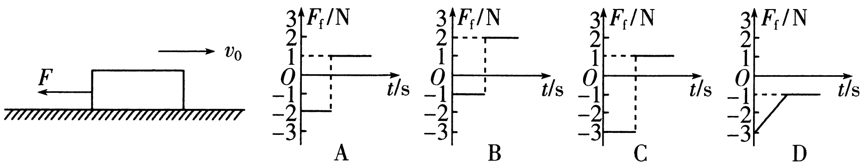
D. 甲图中物体 A 不受摩擦力，乙图中物体 A 受摩擦力，方向和力 F 相同

7. 如图所示，两木块的质量分别为 m_1 和 m_2，两轻质弹簧的劲度系数分别为 k_1 和 k_2. 上面木块压在上面的弹簧上(但不拴接)，整个系统处于平衡状态. 现缓慢向上提上面的木块，直到它刚离开上面的弹簧，在此过程中下面木块移动的距离为 ( )

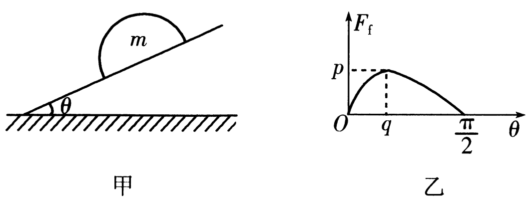


A. $\dfrac{m_1g}{k_1}$　　B. $\dfrac{m_2g}{k_1}$　　C. $\dfrac{m_1g}{k_2}$　　D. $\dfrac{m_2g}{k_2}$

8. 如图所示,质量为 1 kg 的物体与地面间的动摩擦因数 $\mu=0.2$,从 $t=0$ 开始以初速度 v_0 沿水平地面向右滑行,同时受到一个水平向左的恒力 $F=1$ N 的作用,g 取 10 m/s^2,向右为正方向,该物体受到的摩擦力 F_f 随时间变化的图象是(设最大静摩擦力等于滑动摩擦力) ( )



9. 如图甲所示,质量为 m 的半球体静止在倾角为 θ 的平板上,当 θ 从 0 缓慢增大到 90°的过程中,半球体所受摩擦力 F_f 与 θ 的关系如图乙所示,已知半球体始终没有脱离平板,半球体与平板间的动摩擦因数为$\frac{\sqrt{3}}{3}$,最大静摩擦力与滑动摩擦力相等,重力加速度为 g,则 ( )



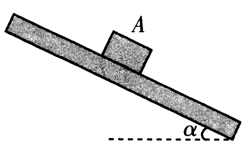
A. $O\sim q$ 段图象可能是直线

B. $q\sim\frac{\pi}{2}$段图象可能是直线

C. $q=\frac{\pi}{4}$

D. $p=\frac{mg}{2}$

10. 如图所示,物块 A 放在倾斜的木板上,木板的倾角 α 分别为 30°和 45°时物块所受摩擦力的大小恰好相等,则物块和木板间的动摩擦因数为 ( )



A. $\frac{1}{2}$

B. $\frac{\sqrt{3}}{2}$

C. $\frac{\sqrt{2}}{2}$

D. $\frac{\sqrt{5}}{2}$

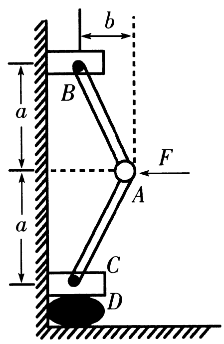
第二讲　力的合成与分解

内容导读

一个力可以被几个力等效替代，几个力也可以被一个力等效替代，合力和分力利用了等效替代思想.

典例剖析

【例 1】某压榨机的结构示意图如图所示，其中 B 为固定铰链，若在 A 铰链处作用一垂直于墙壁的力 F，则由于力 F 的作用，使滑块 C 压紧物体 D，设 C 与 D 光滑接触，杆的重力及滑块 C 的重力不计，图中 $a=0.5\ \mathrm{m}$，$b=0.05\ \mathrm{m}$，则物体 D 所受压力的大小与力 F 的比值为　　（　　）



A. 4　　B. 5

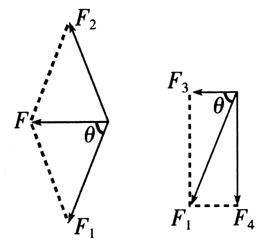
C. 10　　D. 1

● 解析

[**答案**]　B

[**分析**]

按力 F 的作用效果沿 AC、AB 杆方向分解为图甲所示的 F_1、F_2，则 $F_1=F_2=\frac{F}{2\cos\theta}$，由几何知识得 $\tan\theta=\frac{a}{b}=10$，再按 F_1 的作用效果将 F_1 沿水平向左和竖直向下分解为图乙所示的 F_3、F_4，则 $F_4=F_1\sin\theta$，联立得 $F_4=5F$，即物体 D 所受压力大小与力 F 的比值为 5，选项 B 正确.



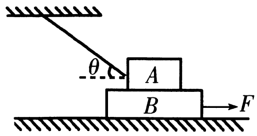
甲　　乙

[**小结**]

效果分解法的技巧：

效果分解法要注意合力与分力的实际效果而确定分力的方向，根据平行四边形定则准确画出对应的力的图示，必要时可添加辅助线，然后合理选用数学工具定量求解.

【例2】如图所示,质量为 $m_B=24$ kg 的木板 B 放在水平地面上,质量为 $m_A=22$ kg 的木箱 A 放在木板 B 上. 一根轻绳一端拴在木箱上,另一端拴在天花板上,轻绳与水平方向的夹角为 $\theta=37°$. 已知木箱 A 与木板 B 之间的动摩擦因数 $\mu_1=0.5$. 现用水平向右、大小为 200 N 的力 F 将木板 B 从木箱 A 下面匀速抽出($\sin 37°=0.6$,$\cos 37°=0.8$,重力加速度 g 取 10 m/s²),则木板 B 与地面之间的动摩擦因数 μ_2 的大小为 ( )



A. 0.3　　　　B. 0.4

C. 0.5　　　　D. 0.6

● 解析

[答案] A

[分析]

对 A 受力分析如图甲所示,

由题意得:$F_T\cos\theta=F_{f1}$,$F_{N1}+F_T\sin\theta=m_Ag$,$F_{f1}=\mu_1F_{N1}$

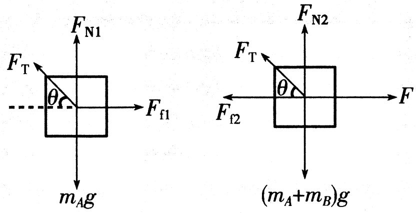
联立可得:$F_T=100$ N.

对 A、B 整体受力分析如图乙所示,

由题意得:$F_T\cos\theta+F_{f2}=F$

$F_{N2}+F_T\sin\theta=(m_A+m_B)g$,$F_{f2}=\mu_2F_{N2}$

联立可得 $\mu_2=0.3$,故 A 正确.



甲　　　　乙

● 解析

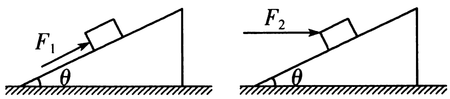
[小结]

力的分解方法选取原则：

(1)选用哪一种方法进行力的分解要视情况而定，一般来说，当物体受到三个或三个以下的力时，常按实际效果进行分解，若这三个力中，有两个力互相垂直，可选用正交分解法.

(2)当物体受到三个以上的力时，常用正交分解法.

【例3】如图所示，质量为 m 的物体置于倾角为 θ 的固定斜面上，物体与斜面之间的动摩擦因数为 μ，先用平行于斜面的推力 F_1 作用于物体上使其能沿斜面匀速上滑，若改用水平推力 F_2 作用于物体上，也能使物体沿斜面匀速上滑，则两次的推力之比 $\frac{F_1}{F_2}$ 为 ( )



甲 乙

A. $\cos\theta+\mu\sin\theta$　　B. $\cos\theta-\mu\sin\theta$

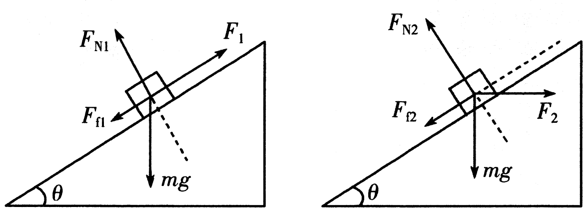
C. $1+\mu\tan\theta$　　D. $1-\mu\tan\theta$

● 解析

[答案] B

[分析]

物体在力 F_1 作用下和力 F_2 作用下运动时的受力如图所示. 将物体受力沿斜面方向和垂直于斜面方向正交分解，由平衡条件可得：



甲 乙

$F_1=mg\sin\theta+F_{f1}$，$F_{N1}=mg\cos\theta$，$F_{f1}=\mu F_{N1}$，

$F_2\cos\theta=mg\sin\theta+F_{f2}$，

●解析

$F_{N2}=mg\cos\theta+F_2\sin\theta$,

$F_{f2}=\mu F_{N2}$,

解得:$F_1=mg\sin\theta+\mu mg\cos\theta$,

$F_2=\dfrac{mg\sin\theta+\mu mg\cos\theta}{\cos\theta-\mu\sin\theta}$,

故$\dfrac{F_1}{F_2}=\cos\theta-\mu\sin\theta$,B 正确.

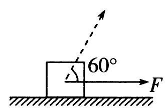
[小结]

(1)物体在力 F_1 或 F_2 作用下做匀速运动,物体所受合力均为零.

(2)将物体所受各力沿斜面方向和垂直斜面方向进行正交分解.

章节练习

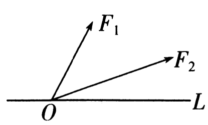
1.(2017·高考全国卷Ⅱ)如图,一物块在水平拉力 F 的作用下沿水平桌面做匀速直线运动.若保持 F 的大小不变,而方向与水平面成 60°角,物块也恰好做匀速直线运动.物块与桌面间的动摩擦因数为 ( )



A. $2-\sqrt{3}$　　B. $\dfrac{\sqrt{3}}{6}$

C. $\dfrac{\sqrt{3}}{3}$　　D. $\dfrac{\sqrt{3}}{2}$

2. 如图所示,F_1、F_2 为有一定夹角的两个力,L 为过 O 点的一条直线,当 L 取什么方向时,F_1、F_2 在 L 上的分力之和最大 ( )



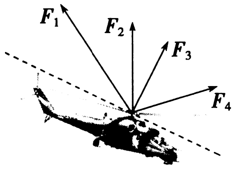
A. F_1、F_2 合力的方向

B. F_1、F_2 中较大力的方向

C. F_1、F_2 中较小力的方向

D. 任意方向均可

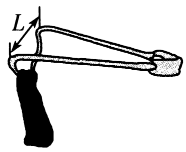
3. 我国海军在南海某空域举行实兵对抗演练,某一直升机在匀速水平飞行过程中遇到突发情况,立即改为沿虚线方向斜向下减速飞行,则空气对其作用力可能是 ( )



A. F_1　　B. F_2

C. F_3　　D. F_4

4. 如图所示,一个“Y”形弹弓顶部跨度为 L,两根相同的橡皮条自由长度均为 L,在两橡皮条的末端用一块软羊皮(长度不计)做成裹片. 若橡皮条的弹力与形变量的关系满足胡克定律,且劲度系数为 k,发射弹丸时每根橡皮条的最大长度为 $2L$(弹性限度内),则发射过程中裹片对弹丸的最大作用力为 ( )



A. kL　　B. $2kL$

C. $\frac{\sqrt{3}}{2}kL$　　D. $\frac{\sqrt{15}}{2}kL$

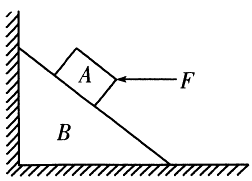
第三讲 受力分析 共点力的平衡

内容导读

受力分析考点一般是对物体所受重力、弹力、摩擦力以及所受其他力的受力情况分析的考查,常结合物体的平衡条件、力的合成与分解等相关知识简单交汇命题,题型一般为选择题. 整体法与隔离法的应用既是重点,更是难点,“难”表现在两个方面:一是研究对象复杂,往往涉及多个物体;二是试题情景新颖,常与生活实际相联系或是实际情景的抽象. 对于该类问题,关键是在明确研究对象的前提下,灵活地选用两大方法. 动态平衡问题是高考的重点. 物体在缓慢移动过程中均处于平衡状态,但物体所受的某些力的大小和方向均发生变化,使结果出现一些不确定性,这是此类问题常失分的主要原因. 针对此类问题,只要准确分析各力特点,合理选取解题方法,问题便可迎刃而解.

典例剖析

【例 1】如图所示,光滑水平地面上有一直角三角形斜面体 B 靠在竖直墙壁上,物块 A 放在斜面体 B 上,开始时 A、B 静止. 现用水平力 F 推 A,A、B 仍静止,则此时 A、B 受力个数的组合可能是 ( )



A. 3 个、5 个　　B. 3 个、3 个

C. 4 个、5 个　　D. 3 个、4 个

●解析

［答案］ CD

［分析］

先对 A、B 整体受力分析，A、B 整体受推力、重力、地面的支持力、墙壁的弹力；再对 A 受力分析，A 受重力、推力、斜面体的支持力，可能还受到静摩擦力，所以 A 可能受到 3 个或 4 个力，分析 B 的受力情况，B 受到重力、墙壁的弹力、地面的支持力、A 对 B 的压力，可能还受到 A 对 B 的静摩擦力，所以 B 可能受到 4 个或 5 个力，故选项 C、D 正确.

［小结］

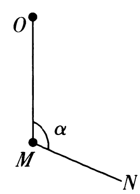
受力分析的三点提醒：

(1)只画研究对象所受的力，不画研究对象对其他物体的作用力.

(2)每分析一个力，都应找出施力物体.

(3)一个力按性质力分析过后，不能再按效果力重复分析.

【例 2】(2017·高考全国卷Ⅰ)如图，柔软轻绳 ON 的一端 O 固定，其中间某点 M 拴一重物，用手拉住绳的另一端 N. 初始时，OM 竖直且 MN 被拉直，OM 与 MN 之间的夹角为 $\alpha\left(\alpha>\frac{\pi}{2}\right)$. 现将重物向右上方缓慢拉起，并保持夹角 α 不变. 在 OM 由竖直被拉到水平的过程中 (　　)



A. MN 上的张力逐渐增大

B. MN 上的张力先增大后减小

C. OM 上的张力逐渐增大

D. OM 上的张力先增大后减小

●解析

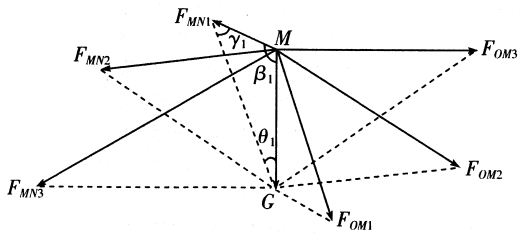
［答案］ AD

［分析］

将重物向右上方缓慢拉起，重物处于动态平衡状态，可利用平衡条件或力的分解画出动态图分析. 将重物的重力沿两绳方向分解，画出分解的动态图如图所示. 在

解析

三角形中,根据正弦定理有$\frac{G}{\sin\gamma_1}=\frac{F_{OM1}}{\sin\beta_1}=\frac{F_{MN1}}{\sin\theta_1}$,由题意可知 F_{MN} 的反方向与 F_{OM} 的夹角 $\gamma=180°-\alpha$,不变,因 $\sin\beta$(β 为 F_{MN} 与 G 的夹角)先增大后减小,故 OM 上的张力先增大后减小,当 $\beta=90°$ 时,OM 上的张力最大,因 $\sin\theta$(θ 为 F_{OM} 与 G 的夹角)逐渐增大,故 MN 上的张力逐渐增大,选项 A、D 正确,B、C 错误.



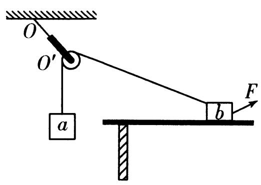
[小结]

①"缓慢拉起"说明重物处于动态平衡;

②"保持夹角 α 不变"说明 OM 与 MN 上的张力大小和方向均变化,但其合力不变.

章节练习

1. (2016·高考全国卷Ⅰ)如图,一光滑的轻滑轮用细绳 OO' 悬挂于 O 点;另一细绳跨过滑轮,其一端悬挂物块 a,另一端系一位于水平粗糙桌面上的物块 b. 外力 F 向右上方拉 b,整个系统处于静止状态. 若 F 方向不变,大小在一定范围内变化,物块 b 仍始终保持静止,则 ( )



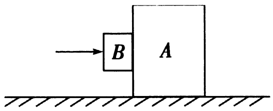
A. 绳 OO' 的张力也在一定范围内变化

B. 物块 b 所受到的支持力也在一定范围内变化

C. 连接 a 和 b 的绳的张力也在一定范围内变化

D. 物块 b 与桌面间的摩擦力也在一定范围内变化

2.(2015·高考山东卷)如图,滑块 A 置于水平地面上,滑块 B 在一水平力作用下紧靠滑块 A(A、B 接触面竖直),此时 A 恰好不滑动,B 刚好不下滑. 已知 A 与 B 间的动摩擦因数为 μ_1,A 与地面间的动摩擦因数为 μ_2,最大静摩擦力等于滑动摩擦力. A 与 B 的质量之比为 (　　)



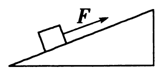
A. $\frac{1}{\mu_1\mu_2}$

B. $\frac{1-\mu_1\mu_2}{\mu_1\mu_2}$

C. $\frac{1+\mu_1\mu_2}{\mu_1\mu_2}$

D. $\frac{2+\mu_1\mu_2}{\mu_1\mu_2}$

3.(2013·高考全国卷)如图,在固定斜面上的一物块受到一外力 F 的作用,F 平行于斜面上. 若要物块在斜面上保持静止,F 的取值应有一定范围,已知其最大值和最小值分别为 F_1 和 F_2($F_2>0$). 由此可求出 (　　)



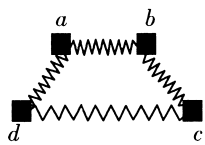
A. 物块的质量

B. 斜面的倾角

C. 物块与斜面间的最大静摩擦力

D. 物块对斜面的正压力

4. 如图,粗糙水平面上 a、b、c、d 四个相同小物块用四根完全相同的轻弹簧连接,正好组成一个等腰梯形,系统静止. ab 之间、ac 之间以及 bd 之间的弹簧长度相同且等于 cd 之间弹簧长度的一半,ab 之间弹簧弹力大小为 cd 之间弹簧弹力大小的一半. 若 a 受到的摩擦力大小为 f,则 (　　)



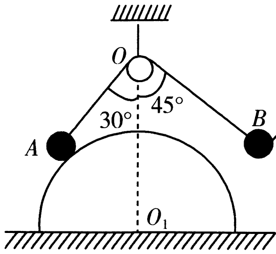
A. ab 之间的弹簧一定是压缩的

B. b 受到的摩擦力大小为 f

C. c 受到的摩擦力大小为 $\sqrt{3}f$

D. d 受到的摩擦力大小为 $2f$

5. 如图所示,小球 A 置于固定在水平面上的光滑半圆柱体上,小球 B 用水平轻弹簧拉着系于竖直板上,两小球 A、B 通过光滑滑轮 O 用轻质细线相连,两球均处于静止状态,已知 B 球质量为 m,O 点在半圆柱体圆心 O_1 的正上方,OA 与竖直方向成30°角,OA 长度与半圆柱体半径相等,OB 与竖直方向成45°角,则下列叙述正确的是 ( )



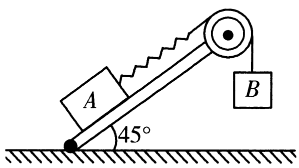
A. 小球 A、B 受到的拉力 T_{OA} 与 T_{OB} 相等,且 $T_{OA}=T_{OB}=\sqrt{3}mg$

B. 弹簧弹力大小$\sqrt{2}mg$

C. A 球质量为$\sqrt{6}m$

D. 光滑半圆柱体对 A 球支持力的大小为 mg

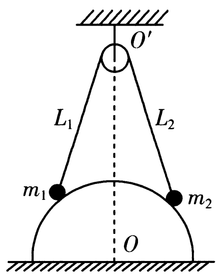
6. 如图所示,物体 A、B 用细绳与轻弹簧连接后跨过滑轮. A 静止在倾角为45°的粗糙斜面上,B 悬挂着. 已知质量 $m_A=3m_B$,不计滑轮摩擦,现将斜面倾角由45°减小到30°,下列说法中正确的是 ( )



A. 弹簧的弹力将增大　　B. 物体 A 对斜面的压力将增大

C. 物体 A 受到的静摩擦力将减小　　D. 物体 A 可能被拉动

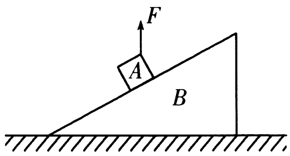
7. 表面光滑、半径为 R 的半球固定在水平地面上,球心 O 的正上方 O'处有一无摩擦定滑轮,轻质细绳两端各系一个可视为质点的小球挂在定滑轮上,如图所示. 两小球平衡时,若滑轮两侧细绳的长度分别为 $L_1=2.4R$ 和 $L_2=2.5R$,则关于这两个小球的质量之比$\frac{m_1}{m_2}$,小球与半球之间的压力之比$\frac{N_1}{N_2}$,以下说法正确的是 ( )



A. $\frac{m_1}{m_2}=\frac{24}{25}$　　B. $\frac{m_1}{m_2}=\frac{25}{24}$

C. $\frac{N_1}{N_2}=1$　　D. $\frac{N_1}{N_2}=\frac{24}{25}$

8. 如图所示，上表面光滑的斜面体 B 置于粗糙的水平面上，物块 A 在竖直向上的力 F 作用下静止在斜面上，现将力 F 沿顺时针方向缓慢地旋转至水平方向，在力 F 旋转的过程中，物块始终保持静止. 则在此过程中 ( )



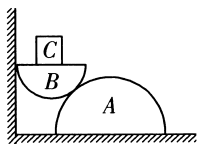
A. F 先减小后增大

B. 斜面对物块的弹力先增大后减小

C. 地面对斜面体的支持力逐渐增大

D. 地面对斜面体的摩擦力逐渐增大

9. 在粗糙水平地面上与墙平行放着一个截面为半圆的柱状物体 A，A 与竖直墙之间放另一截面也为半圆的光滑柱状物体 B，整个装置处于静止状态，截面如图所示. 设墙对 B 的作用力为 F_1，B 对 A 的作用力为 F_2，地面对 A 的作用力为 F_3. 在 B 上加一物体 C，整个装置仍保持静止，则 ( )



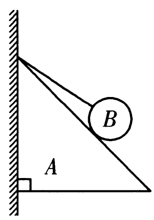
A. F_1 保持不变，F_3 增大

B. F_1 增大，F_3 保持不变

C. F_2 增大，F_3 增大

D. F_2 增大，F_3 保持不变

10. 如图所示，等腰直角斜劈 A 的直角边靠在粗糙的竖直墙壁上，一根不可伸长的轻绳一端固定在竖直墙上，另一端与半径不可忽略的光滑球 B 连接，轻绳与水平方向成30°角，现将轻绳上端点沿竖直墙缓慢向上移动，A 始终处于静止状态，则 ( )



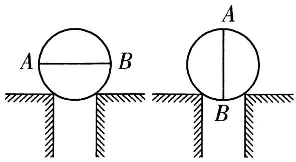
A. 绳子拉力逐渐增大

B. 竖直墙对 A 的摩擦力先减小后增大

C. 竖直墙对 A 的摩擦力可能为零

D. 竖直墙对 A 的弹力逐渐减小

11. 如图所示,一质量均匀的实心圆球被直径 AB 所在的平面一分为二,先后以 AB 沿水平和竖直两种不同方向放置在光滑支架上,处于静止状态,两半球间的作用力分别为 F 和 F',已知支架间的距离为 AB 长度的一半,则 $\frac{F}{F'}$ 等于 ( )



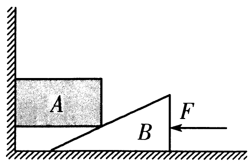
A. $\sqrt{3}$

B. $\frac{\sqrt{3}}{2}$

C. $\frac{2\sqrt{3}}{3}$

D. $\frac{\sqrt{3}}{3}$

12. 如图所示,桌面上固定一个光滑竖直挡板,现将一个长方形物块 A 与截面为三角形的垫块 B 叠放在一起,用水平外力 F 缓缓向左推动 B,使 A 缓慢升高,设各接触面均光滑,则该过程中 ( )



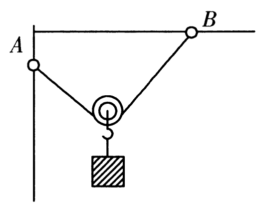
A. A 和 B 均受三个力作用而平衡

B. B 对桌面的压力越来越大

C. A 对 B 的压力越来越小

D. 推力 F 的大小恒定不变

13. 如图所示,一根不可伸长的轻绳两端连接两轻环 A、B,两环分别套在相互垂直的水平杆和竖直杆上. 轻绳绕过光滑的轻小滑轮,重物悬挂于滑轮下,始终处于静止状态. 下列说法中正确的是 ( )



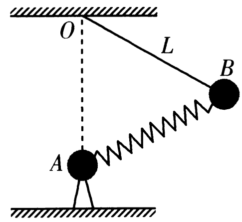
A. 只将环 A 向下移动少许,绳上拉力变大,环 B 所受摩擦力变小

B. 只将环 A 向下移动少许,绳上拉力不变,环 B 所受摩擦力不变

C. 只将环 B 向右移动少许,绳上拉力变大,环 A 所受杆的弹力不变

D. 只将环 B 向右移动少许,绳上拉力不变,环 A 所受杆的弹力变小

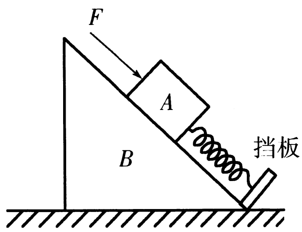
14. 如图所示，质量均为 m 的小球 A、B 用劲度系数为 k_1 的轻弹簧相连，B 球用长为 L 的细绳悬于 O 点，A 球固定在 O 点正下方，当小球 B 平衡时，绳子所受的拉力为 F_{T1}，弹簧的弹力为 F_1；现把 A、B 间的弹簧换成原长相同但劲度系数为 $k_2(k_2>k_1)$ 的另一轻弹簧，在其他条件不变的情况下仍使系统平衡，此时绳子所受的拉力为 F_{T2}，弹簧的弹力为 F_2，则下列关于 F_{T1} 与 F_{T2}、F_1 与 F_2 大小之间的关系，正确的是　(　　)



A. $F_{T1}>F_{T2}$　　B. $F_{T1}=F_{T2}$

C. $F_1<F_2$　　D. $F_1=F_2$

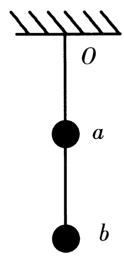
15. 如图所示，放在水平面上的斜面体 B 始终静止，物块 A 放在斜面体上，一轻质弹簧两端分别与物块 A 及固定在斜面体底端的轻质挡板拴接，初始时 A、B 静止，弹簧处于压缩状态. 现用力 F 沿斜面向下推 A，但 A 并未运动，下列说法中正确的是　(　　)



A. 弹簧对挡板的作用力不变　　B. B 对地面的压力增大

C. A、B 之间的摩擦力一定增大　　D. 水平面对 B 的摩擦力始终为零

16. 如图所示，弹性轻绳一端固定于 O 点，另一端连有一质量为 m 的小球 a，小球 a 通过不可伸长的细绳连接质量相同的小球 b，两小球均处于静止状态. 现给小球 b 施加一个力 F，使弹性轻绳与竖直方向成 30°角，两球依然保持静止. 下列说法中正确的是　(　　)



A. 弹性绳的长度一定增加

B. a、b 间细绳上的张力可能减小

C. 力 F 的值可能大于 mg

D. 力 F 的值可能小于$\frac{1}{2}mg$

必修1　第三章　牛顿运动定律

第一讲　牛顿第一定律、牛顿第三定律

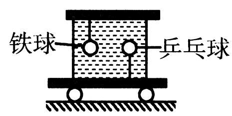
内容导读

物体的惯性总是以保持“原状”或反抗“改变”两种形式表现出来. 物体在不受外力或所受的合外力为零时,惯性表现为使物体保持原来的运动状态不变(静止或匀速直线运动). 牛顿第一定律是经过科学抽象、归纳推理总结出来的,而牛顿第二定律是一条实验定律.

牛顿第三定律在受力分析、处理连接体问题中都有广泛的应用. 当某个力不方便直接分析或求解时,可利用牛顿第三定律转换研究对象,通过分析或求解反作用力,从而快捷地解决问题.

典例剖析

【例1】如图所示,一盛水的容器固定在一个小车上,在容器中分别悬挂一只铁球和拴住一只乒乓球. 容器中的水和铁球、乒乓球都处于静止状态. 当容器随小车突然向右运动时,两球的运动状况为(以小车为参考系)



(　　)

A. 铁球向左,乒乓球向右　　B. 铁球向右,乒乓球向左

C. 铁球和乒乓球都向左　　D. 铁球和乒乓球都向右

● 解析

[**答案**]　A

[**分析**]

因为小车突然向右运动,铁球和乒乓球都有向右运动的趋势,但由于与同体积的“水球”相比,铁球质量大、惯性大,铁球的运动状态难改变,即速度变化慢,而同体

●解析

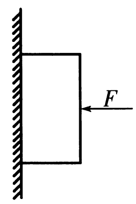
积的"水球"的运动状态容易改变,即速度变化快,而且水和车一起向右运动,所以小车向右运动时,铁球相对小车向左运动.同理,由于乒乓球与同体积的"水球"相比,质量小,惯性小,乒乓球相对小车向右运动.

［**小结**］

(1)质量是物体惯性大小的唯一量度,物体的质量越大,惯性越大,状态越难改变.

(2)悬挂在空气中的铁球和乒乓球的惯性都比对应的"空气球"的惯性大,但悬挂在水中的乒乓球的惯性没有对应的"水球"的惯性大.

【例2】如图所示,用水平力 F 把一个物体紧压在竖直墙壁上静止,下列说法中正确的是 ( )



A. 水平力 F 跟墙壁对物体的弹力是一对作用力与反作用力

B. 物体的重力跟墙壁对物体的静摩擦力是一对平衡力

C. 水平力 F 与物体对墙壁的压力是一对作用力与反作用力

D. 物体对墙壁的压力与墙壁对物体的弹力是一对作用力与反作用力

●解析

［**答案**］ BD

［**分析**］

水平力 F 跟墙壁对物体的弹力作用在同一物体上,大小相等方向相反且作用在同一条直线上,是一对平衡力,选项 A 错误;物体在竖直方向上受竖直向下的重力以及墙壁对物体竖直向上的静摩擦力的作用,因物体处于静止状态,故这两个力是一对平衡力,选项 B 正确;水平力 F 作用在物体上,而物体对墙壁的压力作用在墙壁上,这两个力不是平衡力,也不是相互作用力,选项 C 错误;物体对墙壁的压力与墙壁对物体的弹力是两个物体间的相互作用力,是一对作用力与反作用力,选项 D 正确.

●解析

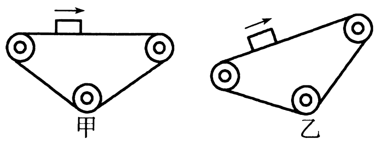
[小结]

一对平衡力和作用力与反作用力的比较

名称 / 项目	一对平衡力	作用力与反作用力
作用对象	同一个物体	两个相互作用的不同物体
作用时间	不一定同时产生、同时消失	一定同时产生、同时消失
力的性质	不一定相同	一定相同
作用效果	可相互抵消	不可抵消

章节练习

1. 如图所示，甲为水平传送带，乙为倾斜传送带，当行李箱随传送带一起匀速运动时，下列判断中正确的是 (　　)



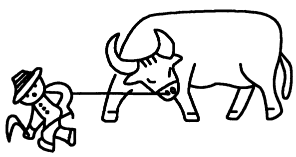
A. 甲上的行李箱受到重力、支持力和摩擦力作用

B. 乙上的行李箱受到重力、支持力和摩擦力作用

C. 乙上的行李箱受的支持力与重力是一对平衡力

D. 甲上的行李箱受的支持力与重力是一对作用力与反作用力

2. 如图所示，人沿水平方向拉牛，但没有拉动，下列说法中正确的是 (　　)



A. 绳拉牛的力小于牛拉绳的力

B. 绳拉牛的力与牛拉绳的力是一对平衡力

C. 绳拉牛的力与地面对牛的摩擦力是一对平衡力

D. 绳拉牛的力与地面对牛的摩擦力是相互作用力

3. 牛顿在总结 C. 雷恩、J. 沃利斯和 C. 惠更斯等人的研究结果后，提出了著名的牛顿第三定律，阐述了作用力和反作用力的关系，从而与牛顿第一定律和牛顿第二定律形成了完整的牛顿力学体系. 下列关于作用力和反作用力的说法中正确的是　（　　）

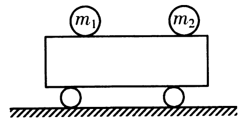
A. 物体先对地面产生压力，然后地面才对物体产生支持力

B. 物体对地面的压力和地面对物体的支持力互相平衡

C. 人推车加速前进，人对车的作用力的大小等于车对人的作用力的大小

D. 物体在地面上滑行，物体对地面的摩擦力大于地面对物体的摩擦力

4. 如图所示，在一辆表面光滑且足够长的小车上，有质量为 m_1 和 m_2 的两个小球（$m_1 > m_2$）随车一起匀速运动，当车突然停止时，若不考虑其他阻力，则两个小球　（　　）



A. 一定相碰　　B. 一定不相碰

C. 不一定相碰　　D. 无法确定

5. 汽车拉着拖车在平直的公路上运动，下列说法中正确的是　（　　）

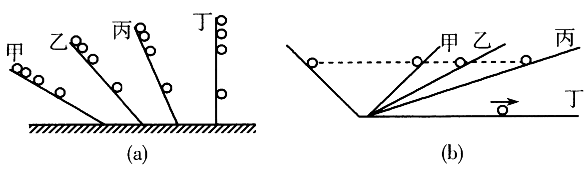
A. 汽车能拉着拖车前进是因为汽车对拖车的拉力大于拖车对汽车的拉力

B. 汽车先对拖车施加拉力，然后才产生拖车对汽车的拉力

C. 匀速前进时，汽车对拖车的拉力等于拖车向后拉汽车的力；加速前进时，汽车对拖车的拉力大于拖车向后拉汽车的力

D. 拖车加速前进，是因为汽车对拖车的拉力大于地面对拖车的摩擦阻力；汽车加速前进是因为地面对汽车向前的作用力大于拖车对它的拉力

6. 伽利略对“自由落体运动”和“运动和力的关系”的研究，开创了科学实验和逻辑推理相结合的重要科学研究方法. 图(a)、(b)分别表示这两项研究中实验和逻辑推理的过程，对这两项研究，下列说法中正确的是　（　　）



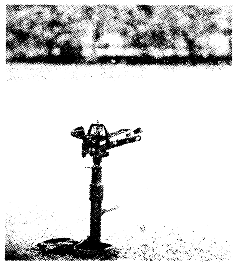
A. 图(a)通过对自由落体运动的研究，合理外推得出小球在斜面上做匀变速运动

B. 图(a)中先在倾角较小的斜面上进行实验，可“冲淡”重力，使时间测量更容易

C. 图(b)中完全没有摩擦阻力的斜面是实际存在的，实验可实际完成

D. 图(b)的实验为“理想实验”，通过逻辑推理得出物体的运动需要力来维持

7. 关于反作用力在日常生活和生产中的应用,下列说法中正确的是 ( )



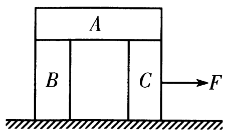
A. 在平静的水面上,静止着一只小船,船上有一人,人从静止开始从小船的一端走向另一端时,船向相反方向运动

B. 汽车行驶时,通过排气筒向后排出燃气,从而获得向前的反作用力即动力

C. 如图所示,是农田灌溉用的自动喷水器,当水从弯管的喷嘴喷射出来时,弯管会自动转向

D. 软体动物乌贼在水中通过体侧的孔将水吸入鳃腔,然后用力把水挤出体外,乌贼就会向相反方向游去

8. A、B、C 三个物体如图所示放置,所有接触面均不光滑. 有一个水平力 F 作用在物体上,使 A、B、C 一起向右做匀速直线运动,则 ( )



A. B 对 A 的摩擦力方向水平向左

B. B 对 A 的摩擦力方向水平向右

C. C 对 A 的摩擦力方向水平向左

D. C 对 A 的摩擦力方向水平向右

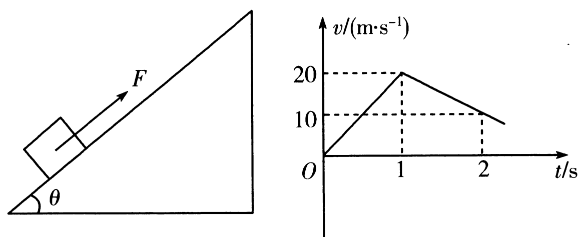
第二讲　牛顿第二定律、两类动力学问题

内容导读

牛顿运动定律和运动学公式结合起来解决力学问题，是求解物理问题的一把金钥匙，利用好这把钥匙，需要做好物体的受力情况和运动情况的分析.

典例剖析

【例 1】如图甲所示，质量为 $m=1$ kg 的物体置于倾角为 $\theta=37°$ 的固定且足够长的斜面上，对物体施以平行于斜面向上的拉力 F，在 $t_1=1$ s 时撤去拉力，物体运动的部分 $v-t$ 图象如图乙所示. 重力加速度 $g=10$ m/s². $\sin 37°=0.6$，$\cos 37°=0.8$. 试求：



甲　　乙

(1) 拉力 F 的大小；

(2) $t=5$ s 时物体的速度 v 的大小.

解析

[答案]　(1) 30 N　(2) 4 m/s

[分析]

(1) 设力 F 作用时物体加速度为 a_1，对物体进行受力分析

由牛顿第二定律可知 $F-mg\sin\theta-\mu mg\cos\theta=ma_1$

撤去力 F 后，由牛顿第二定律有

$mg\sin\theta+\mu mg\cos\theta=ma_2$

●解析

根据图象可知,$a_1=20\ m/s^2$,$a_2=10\ m/s^2$

代入解得 $F=30\ N$,$\mu=0.5$.

(2)设撤去力后物体运动到最高点所需时间为 t_2

由 $v_1=a_2t_2$,解得 $t_2=2\ s$

则物体沿着斜面下滑的时间为 $t_3=t-t_1-t_2=2\ s$

设下滑加速度为 a_3,由牛顿第二定律有

$mg\sin\theta-\mu mg\cos\theta=ma_3$,解得 $a_3=2\ m/s^2$

$t=5\ s$ 时速度 $v=a_3t_3=4\ m/s$.

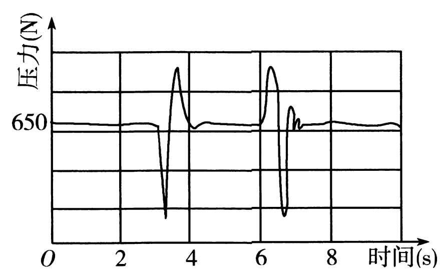
[**小结**]

解决动力学两类问题的两个关键点:

(1)两个分析:受力情况分析和运动情况分析

(2)两个桥梁:加速度是联系运动和力的桥梁;速度是各物理过程间相互联系的桥梁.

【例2】如图所示,是某同学站在力传感器上,做下蹲-起立的动作时记录的力随时间变化的图线,纵坐标为力(单位为N),横坐标为时间(单位为s).由图可知,该同学的体重约为650 N,除此以外,还可以得到的信息有 ( )



A.该同学做了两次下蹲-起立的动作

B.该同学做了一次下蹲-起立的动作,且下蹲后约2 s起立

C.下蹲过程中人处于失重状态

D.下蹲过程中人先处于超重状态后处于失重状态

●解析

[答案] B

[分析]

在3~4 s下蹲过程中,先向下加速再向下减速,故人先处于失重状态后处于超重状态;在6~7 s起立过程中,先向上加速再向上减速,故人先处于超重状态后处于失重状态,选项A、C、D错误,B正确.

[小结]

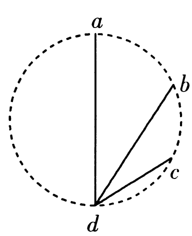
对超重、失重和完全失重的进一步理解:

(1)超重并不是重力增加了,失重并不是重力减小了,完全失重也不是重力完全消失了.在发生这些现象时,物体的重力依然存在,且不发生变化,只是物体对支持物的压力(或对悬挂物的拉力)发生了变化(即"视重"发生变化).

(2)只要物体有向上或向下的加速度,物体就处于超重或失重状态,与物体向上运动还是向下运动无关.

(3)尽管物体的加速度不是在竖直方向,但只要其加速度在竖直方向上有分量,物体就会处于超重或失重状态.

【例3】如图所示,ad、bd、cd是竖直面内三根固定的光滑细杆,a、b、c、d位于同一圆周上,a点为圆周的最高点,d点为最低点.每根杆上都套有一个小滑环(图中未画出),三个滑环分别从a、b、c处释放(初速度为零),用t_1、t_2、t_3依次表示各滑环到达d点所用的时间,则 ( )



A. $t_1 < t_2 < t_3$　　B. $t_1 > t_2 > t_3$

C. $t_3 > t_1 > t_2$　　D. $t_3 = t_1 = t_2$

●解析

［答案］ D

［分析］

选任一杆上的环为研究对象，设该杆和水平方向的夹角为 θ，设圆半径为 R，由牛顿第二定律得

$mg\sin\theta = ma$ ①

再由几何关系，细杆长度 $L = 2R\sin\theta$ ②

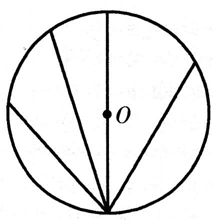
设下滑时间为 t，则 $L = \frac{1}{2}at^2$ ③

由以上三式得，$t = 2\sqrt{\frac{R}{g}}$，可见下滑时间与细杆倾角无关，所以 D 正确.

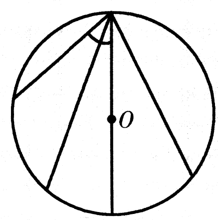
［小结］

(1)物体沿着位于同一竖直圆上的所有光滑弦由静止下滑，到达圆周最低点时间均相等，且为 $t = 2\sqrt{\frac{R}{g}}$(如图甲所示).

(2)物体物体沿着位于同一竖直圆上的所有过顶点的光滑弦由静止下滑，到达圆上时间相等为 $t = 2\sqrt{\frac{R}{g}}$(如图乙所示).



甲



乙

章节练习

1. 一个质量为 2 kg 的物体，在 5 个共点力作用下处于平衡状态. 现同时撤去大小分别为 15 N和 10 N 的两个力，其余的力保持不变，g 取 10 m/s^2. 关于此后该物体的运动，下列说法中正确的是 ( )

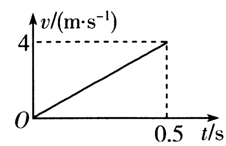
A. 一定做匀变速直线运动，加速度大小可能是 5 m/s^2

B. 一定做匀变速运动，加速度大小可能等于重力加速度的大小

C. 可能做匀减速直线运动，加速度大小是 2.5 m/s^2

D. 可能做匀速圆周运动，向心加速度大小是 5 m/s^2

2. 质量为 0.1 kg 的小球从空中某高度由静止开始下落到地面，该下落过程对应的 $v-t$ 图象如图所示. 小球与水平地面每次碰撞后离开地面时的速度大小均为碰撞前的$\frac{3}{4}$，小球运动受到的空气阻力大小恒定，g 取 10 m/s^2，下列说法正确的是 ( )



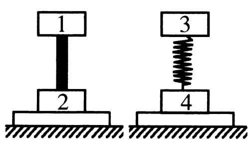
A. 小球受到的空气阻力大小为 0.3 N

B. 小球上升时的加速度大小为 18 m/s^2

C. 小球第一次上升的高度为 0.375 m

D. 小球第二次下落的时间为$\frac{\sqrt{6}}{4}$ s

3. 如图所示，物块 1、2 间用刚性轻质杆连接，物块 3、4 间用轻质弹簧相连，物块 1、3 质量为 m，物块 2、4 质量为 M，两个系统均置于水平放置的光滑木板上，并处于静止状态. 现将两木板沿水平方向突然抽出，设抽出后的瞬间，物块 1、2、3、4 的加速度大小分别为 a_1、a_2、a_3、a_4. 重力加速度大小为 g，则有 ( )



A. $a_1=a_2=a_3=a_4=0$

B. $a_1=a_2=a_3=a_4=g$

C. $a_1=a_2=g, a_3=0, a_4=\frac{(m+M)g}{M}$

D. $a_1=g, a_2=\frac{(m+M)g}{M}, a_3=0, a_4=\frac{(m+M)g}{M}$

4.（2016·高考全国卷Ⅱ）两实心小球甲和乙由同一种材料制成，甲球质量大于乙球质量. 两球在空气中由静止下落，假设它们运动时受到的阻力与球的半径成正比，与球的速率无关. 若它们下落相同的距离，则（　　）

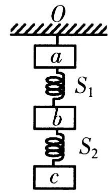
A. 甲球用的时间比乙球长

B. 甲球末速度的大小大于乙球末速度的大小

C. 甲球加速度的大小小于乙球加速度的大小

D. 甲球克服阻力做的功大于乙球克服阻力做的功

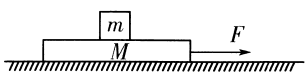
5. 如图所示，物块 a、b 和 c 的质量相同，a 和 b、b 和 c 之间用完全相同的轻弹簧 S_1 和 S_2 相连，通过系在 a 上的细线悬挂于固定点 O，整个系统处于静止状态. 现将细线剪断，将物块 a 的加速度的大小记为 a_1，S_1 和 S_2 相对于原长的伸长量分别记为 ΔL_1 和 ΔL_2，重力加速度大小为 g. 在剪断的瞬间（　　）



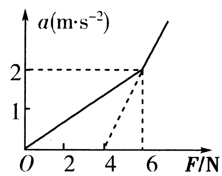
A. $a_1=3g$　　B. $a_1=0$

C. $\Delta L_1=2\Delta L_2$　　D. $\Delta L_1=\Delta L_2$

6. 如图甲所示，一质量为 M 的长木板静置于光滑水平面上，其上放置一质量为 m 的小滑块. 木板受到水平拉力 F 作用时，用传感器测出长木板的加速度 a 与水平拉力 F 的关系如图乙所示，重力加速度 $g=10\ \mathrm{m/s^2}$，下列说法中正确的是（　　）



甲



乙

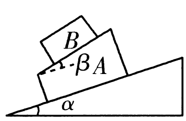
A. 小滑块的质量 $m=2\ \mathrm{kg}$

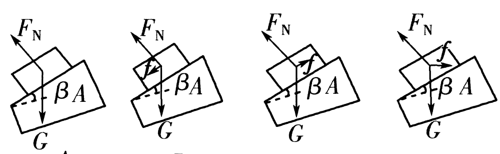
B. 小滑块与长木板之间的动摩擦因数为 0.1

C. 当水平拉力 $F=7\ \mathrm{N}$ 时，长木板的加速度大小为 $3\ \mathrm{m/s^2}$

D. 当水平拉力 F 增大时，小滑块的加速度一定增大

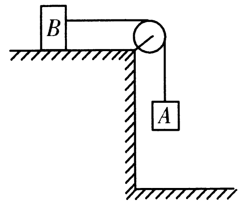
7. 如图所示，倾角为 α 的光滑斜面固定于水平面，滑块 A 的上表面与斜面的夹角为 β，滑块 A、B 叠放后一起冲上斜面，且始终保持相对静止. 则 A、B 一起沿斜面向上运动时，滑块 B 的受力示意图正确的是（　　）





A　　B　　C　　D

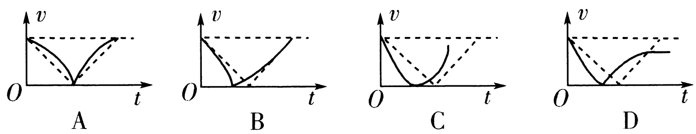
8. 质量不等的两木块 A、B，用跨过一轻质定滑轮的轻绳相连，在图示情况下，木块 A、B 一起做匀速运动. 若木块 A、B 的位置互相交换，则木块 A 运动的加速度为（木块 A、B 与桌面间的动摩擦因数均为 μ，且 $\mu<1$，重力加速度为 g，空气阻力、滑轮摩擦均不计）（　　）



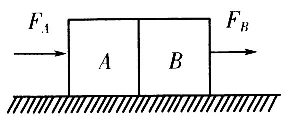
A. $(1-\mu)g$　　　　B. $(1-\mu^2)g$

C. $\frac{1-\mu^2}{\mu}g$　　　　D. 与木块 A、B 的质量有关

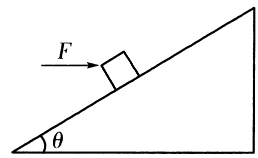
9. 以相同初速度将两个物体同时竖直向上抛并开始计时，一个物体所受空气阻力可以忽略，另一个物体所受空气阻力大小与物体速率成正比，下列用虚线和实线描述两物体运动的速率－时间图象中可能正确的是（　　）



10. 如图所示，在光滑水平面上，放置着 A、B 两个物体. A、B 紧靠在一起，其质量分别为 $m_A=3$ kg，$m_B=6$ kg，推力 F_A 作用于 A 上，拉力 F_B 作用于 B 上，F_A、F_B 大小均随时间而变化，其规律为 $F_A=(12-2t)$ N，$F_B=(6+2t)$ N. 求从 $t=0$ 开始到 A、B 相互脱离为止，A、B 的共同位移是多少？



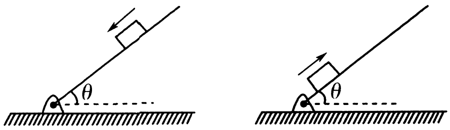
11. 一质量为 $m=2$ kg 的滑块能在倾角为 $\theta=30°$ 的足够长的斜面上以 $a=2.5$ m/s^2 匀加速下滑,如图所示. 若用一水平向右的恒力 F 作用于滑块,使之由静止开始在 $t=2$ s 内能沿斜面运动位移 $x=4$ m. 求:(g 取 10 m/s^2)



(1)滑块和斜面之间的动摩擦因数 μ;

(2)恒力 F 的大小.

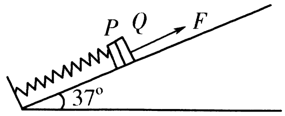
12. 如图所示，木板与水平地面间的夹角 θ 可以随意改变，当 $\theta=30°$ 时，可视为质点的一小物块恰好能沿着木板匀速下滑. 若让该小物块从木板的底端以大小恒定的初速率 $v_0=10\ m/s$ 的速度沿木板向上运动，随着 θ 的改变，小物块沿木板滑行的距离 x 将发生变化，重力加速度 g 取 $10\ m/s^2$.



(1) 求小物块与木板间的动摩擦因数；

(2) 当 θ 角满足什么条件时，小物块沿木板滑行的距离最小，并求出此最小值.

13. 弹簧一端固定在倾角为37°的光滑斜面的底端,另一端拴住质量 $m_1=4$ kg 的物块 P,Q 为一重物,紧靠 P 放置,已知 Q 的质量 $m_2=8$ kg,弹簧的质量不计,劲度系数 $k=600$ N/m,系统处于静止状态,如图所示. 现给 Q 施加一个沿斜面向上的力 F,使它从静止开始沿斜面向上做匀加速运动,已知在前0.2 s时间内,F 为变力,0.2 s以后,F 为恒力. 求此过程中力 F 的最大值与最小值. ($\sin 37°=0.6$,$g=10$ m/s^2)



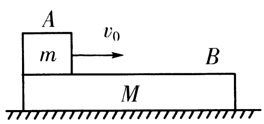
第三讲 牛顿运动定律的综合应用

内容导读

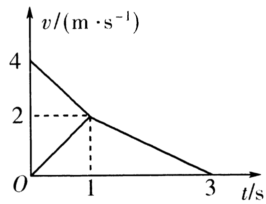
本讲利用牛顿运动定律处理问题,涉及的物体多,涉及的物理过程多,很好地考查学生分析问题和解决问题的能力.

典例剖析

【例1】质量为1 kg的木板B静止在水平面上,可视为质点的物块A从木板的左侧沿木板上表面水平冲上木板,如图甲所示.A和B经过1 s达到同一速度,之后共同减速直至静止,A和B运动的$v-t$图象如图乙所示,取$g=10\ m/s^2$,则物块A的质量为 ( )



甲



乙

A. 1 kg　　B. 2 kg

C. 3 kg　　D. 6 kg

解析

[答案] C

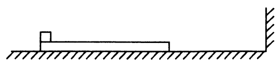
[分析]

设A和B间的动摩擦因数为μ_1,B和水平面间的动摩擦因数为μ_2,0~1 s的时间内A的加速度的大小为$a_1=2\ m/s^2$,$\mu_1 mg=ma_1$,可得:$\mu_1=0.2$;0~1 s的时间内B的加速度的大小为$a_2=2\ m/s^2$,$\mu_1 mg-\mu_2(M+m)g=Ma_2$;1~3 s A和B共同减速运动,加速度大小为$a_3=1\ m/s^2$,$\mu_2(M+m)g=(M+m)a_3$,可得:$\mu_2=0.1$,可得:$m=3$ kg,选项C正确.

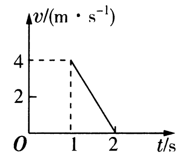
[小结]

分别对A、B、A和B整体利用牛顿第二定律,然后结合$v-t$图象把问题解决.

【例2】(2015·高考全国卷Ⅰ)一长木板置于粗糙水平地面上,木板左端放置一小物块;在木板右方有一墙壁,木板右端与墙壁的距离为4.5 m,如图甲所示. $t=0$ 时刻开始,小物块与木板一起以共同速度向右运动,直至 $t=1$ s时木板与墙壁碰撞(碰撞时间极短).碰撞前后木板速度大小不变,方向相反;运动过程中小物块始终未离开木板.已知碰撞后1 s时间内小物块的 $v-t$ 图线如图乙所示.木板的质量是小物块质量的15倍,重力加速度大小 g 取10 m/s^2.求:



甲



乙

(1)木板与地面间的动摩擦因数 μ_1 及小物块与木板间的动摩擦因数 μ_2;

(2)木板的最小长度;

(3)木板右端离墙壁的最终距离.

●解析

[答案] (1)0.1 0.4 (2)6.0 m (3)6.5 m

[分析]

(1)规定向右为正方向.木板与墙壁相碰前,小物块和木板一起向右做匀变速运动,设加速度为 a_1,小物块和木板的质量分别为 m 和 M.由牛顿第二定律有

$$-\mu_1(m+M)g=(m+M)a_1 \quad ①$$

由题图乙可知,木板与墙壁碰撞前瞬间的速度 $v_1=4$ m/s,由运动学公式有

$$v_1=v_0+a_1t_1 \quad ②$$

$$s_0=v_0t_1+\frac{1}{2}a_1t_1^2 \quad ③$$

式中,$t_1=1$ s,$s_0=4.5$ m是木板碰撞前的位移,v_0 是小物块和木板开始运动时的速度.

联立①②③式和题给条件得 $\mu_1=0.1$ ④

●解析

在木板与墙壁碰撞后,木板以 $-v_1$ 的初速度向左做匀变速运动,小物块以 v_1 的初速度向右做匀变速运动.设小物块的加速度为 a_2,由牛顿第二定律有

$$-\mu_2 mg = ma_2 \quad ⑤$$

由题图乙可得

$$a_2 = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} \quad ⑥$$

式中,$t_2 = 2\ \text{s}$,$v_2 = 0$,$t_1 = 1\ \text{s}$,$v_1 = 4\ \text{m/s}$,联立⑤⑥式和题给条件得

$$\mu_2 = 0.4. \quad ⑦$$

(2)设碰撞后木板的加速度为 a_3,经过时间 Δt,木板和小物块刚好具有共同速度 v_3. 由牛顿第二定律及运动学公式得

$$\mu_2 mg + \mu_1 (M + m) g = Ma_3 \quad ⑧$$

$$v_3 = -v_1 + a_3 \Delta t \quad ⑨$$

$$v_3 = v_1 + a_2 \Delta t \quad ⑩$$

碰撞后至木板和小物块刚好达到共同速度的过程中,木板运动的位移为

$$s_1 = \frac{-v_1 + v_3}{2} \Delta t \quad ⑪$$

小物块运动的位移为

$$s_2 = \frac{v_1 + v_3}{2} \Delta t \quad ⑫$$

小物块相对木板的位移为

$$\Delta s = s_2 - s_1 \quad ⑬$$

联立④⑥⑦⑧⑨⑩⑪⑫⑬式,并代入数值得

$$\Delta s = 6.0\ \text{m} \quad ⑭$$

因为运动过程中小物块没有脱离木板,所以木板的最小长度应为 6.0 m.

●解析

(3)在小物块和木板具有共同速度后,两者向左做匀变速运动直至停止,设加速度为 a_4,此过程中小物块和木板运动的位移为 s_3. 由牛顿第二定律及运动学公式得

$$\mu_1(m+M)g=(m+M)a_4 \quad ⑮$$

$$0-v_3^2=2a_4s_3 \quad ⑯$$

碰后木板运动的位移为

$$s=s_1+s_3 \quad ⑰$$

联立④⑥⑧⑨⑩⑪⑮⑯⑰式,并代入数值得

$s=-6.5$ m

木板右端离墙壁的最终距离为6.5 m.

[**小结**]

滑块—滑板模型是力学中最常见的模型之一,该类试题有如下几种命题角度:

角度1　滑块不受力而滑板受拉力

滑板受逐渐增大的拉力而滑块不受力,这种情况下,开始滑块和滑板一起做变加速运动,当滑块加速度达到其最大值 μg 时,滑块、滑板开始发生相对滑动,此后滑块加速度保持不变,滑板加速度逐渐增大.

角度2　给滑块一初速度 v_0,两者都不受拉力且叠放在光滑水平地面上

1. 若滑板足够长,这种情况下,滑块减速、滑板加速,直至两者速度相等将一起匀速运动下去,其速度关系为 $v_0-a_{块}t=a_{板}t$.

2. 若滑板不够长,这种情况下,滑块会一直减速到滑下滑板,滑板会一直加速到滑块滑下. 分离前滑块加速度大小 $a=\mu g$,滑板的加速度大小 $a=\dfrac{\mu m_{块}g}{m_{板}}$.

●解析

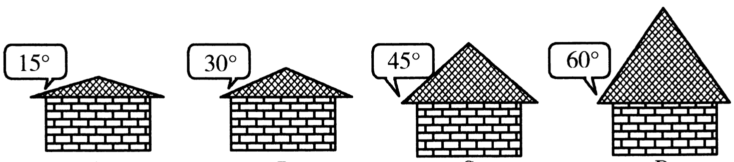
角度 3　滑板有初速度 v_0，两者都不受拉力且叠放在光滑水平面上

1. 若滑板足够长，滑板减速、滑块加速，直至两者速度相等将一起匀速运动下去，其速度关系为 $v_0 - a_{板} t = a_{块} t$；

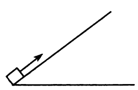
2. 若滑板不够长，则滑板会一直减速到滑块滑下，滑块会一直加速到滑下滑板. 分离前滑块的加速度大小 $a = \mu g$，滑板的加速度大小 $a = \frac{\mu m_{块} g}{m_{板}}$.

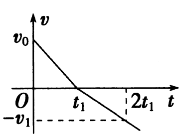
章节练习

1. 为了使雨滴能尽快地淌离房顶，要设计好房顶的高度，设雨滴沿房顶下淌时做无初速度无摩擦的运动，那么如图所示的四种情况中符合要求的是　　　　(　　)



2. (2015·高考全国卷Ⅰ)如图甲，一物块在 $t=0$ 时刻滑上一固定斜面，其运动的 $v-t$ 图线如图乙所示. 若重力加速度及图中的 v_0、v_1、t_1 均为已知量，则可求出　　　　(　　)


甲



乙

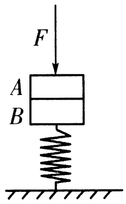
A. 斜面的倾角

B. 物块的质量

C. 物块与斜面间的动摩擦因数

D. 物块沿斜面向上滑行的最大高度

3. 如图所示，A、B 质量均为 m，叠放在轻质弹簧上（弹簧下端固定于地面上），对 A 施加一竖直向下、大小为 $F(F>2mg)$ 的力，将弹簧再压缩一段距离（弹簧始终处于弹性限度内）而处于平衡状态，现突然撤去力 F，设两物体向上运动过程中 A、B 间的相互作用力大小为 F_N，则关于 F_N 的说法中正确的是（重力加速度为 g） （ ）



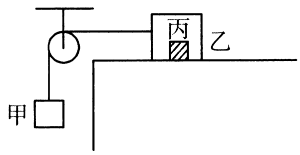
A. 刚撤去外力 F 时，$F_N=\frac{mg+F}{2}$

B. 弹簧弹力等于 F 时，$F_N=\frac{F}{2}$

C. 两物体 A、B 的速度最大时，$F_N=mg$

D. 弹簧恢复原长时，$F_N=mg$

4. 如图所示，在摩擦力不计的水平桌面上放一质量为 $m_{乙}=5\ \text{kg}$ 的盒子乙，乙内放置一质量为 $m_{丙}=1\ \text{kg}$ 的滑块丙，用一质量不计的细绳跨过光滑的定滑轮将一质量为 $m_{甲}=2\ \text{kg}$ 的物块甲与乙相连接，其中连接乙的细绳与水平桌面平行. 现由静止释放物块甲，在以后的运动过程中，盒子乙与滑块丙之间没有相对运动，假设整个运动过程中盒子始终没有离开水平桌面，重力加速度 $g=10\ \text{m/s}^2$. 则 （ ）



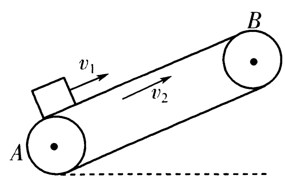
A. 细绳对盒子的拉力大小为 20 N

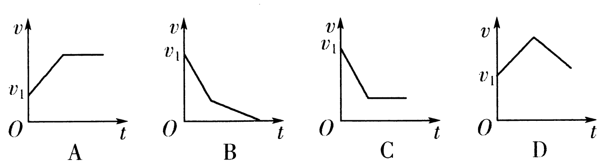
B. 盒子的加速度大小为 2.5 m/s^2

C. 盒子对滑块丙的摩擦力大小为 2.5 N

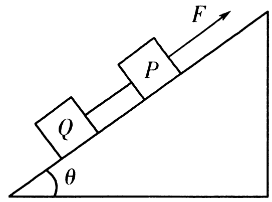
D. 定滑轮受到细绳的作用力为 30 N

5. 如图所示，倾斜的传送带始终以恒定速率 v_2 运动，一小物块以 v_1 的初速度冲上传送带，则自小物块冲上传送带时，小物块在传送带上运动的速度图象可能是 （ ）





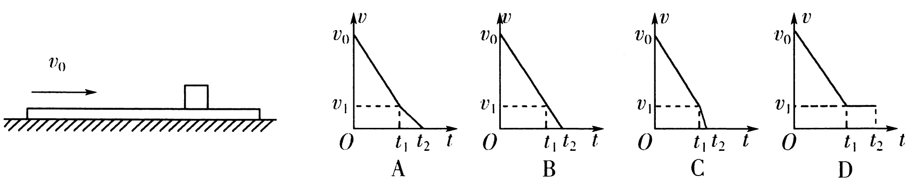
6. 如图所示，有材料相同的 P、Q 两物块通过轻绳相连，并在拉力 F 作用下沿斜面向上运动，轻绳与拉力 F 的方向均平行于斜面. 当拉力 F 一定时，Q 受到绳的拉力 （　　）



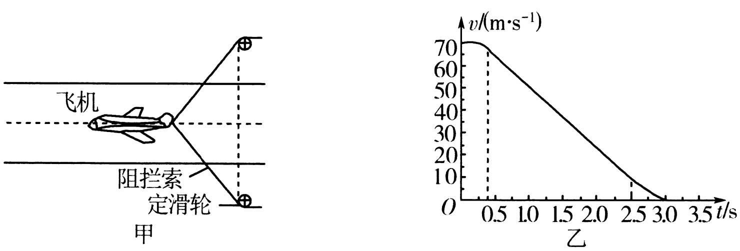
A. 与斜面倾角 θ 有关　　B. 与动摩擦因数有关

C. 与系统运动状态有关　　D. 与两物块质量有关

7. 如图所示，一长木板在水平地面上运动，在某时刻（$t=0$）将一相对于地面静止的物块轻放到木板上，已知物块与木板的质量相等，物块与木板间及木板与地面间均有摩擦，物块与木板间的最大静摩擦力等于滑动摩擦力，且物块始终在木板上，在物块放到木板上之后，木板运动的速度－时间图象可能是下列选项中的 （　　）



8. 2012 年 11 月，“歼 15”舰载机在“辽宁号”航空母舰上着舰成功. 图甲为利用阻拦系统让舰载机在飞行甲板上快速停止的原理示意图. 飞机着舰并成功钩住阻拦索后，飞机的动力系统立即关闭，阻拦系统通过阻拦索对飞机施加一作用力，使飞机在甲板上短距离滑行后停止. 某次降落，以飞机着舰为计时零点，飞机在 $t=0.4$ s 时恰好钩住阻拦索中间位置，其着舰到停止的速度－时间图线如图乙所示. 假如无阻拦索，飞机从着舰到停止需要的滑行距离约为 1 000 m. 已知航母始终静止，重力加速度的大小为 g，不计空气阻力. 则 （　　）



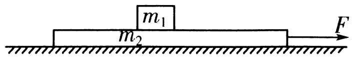
A. 从着舰到停止，飞机在甲板上滑行的距离约为无阻拦索时的 $\frac{1}{10}$

B. 在 0.4～2.5 s 时间内，阻拦索的张力几乎不随时间变化

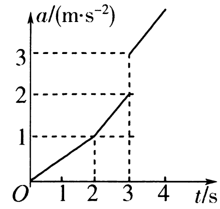
C. 在滑行过程中，飞行员所承受的加速度大小会超过 $2.5g$

D. 在 0.4～2.5 s 时间内，阻拦系统对飞机做功的功率几乎不变

9. 如图甲所示，质量为 m_2 的长木板静止在光滑的水平面上，其上静置一质量为 m_1 的小滑块. 现给木板施加一随时间均匀增大的水平力 F，满足 $F=kt$（k 为常数，t 代表时间），长木板的加速度 a 随时间 t 变化的关系如图乙所示. 已知小滑块所受到的最大静摩擦力等于滑动摩擦力. 下列说法中正确的是 （ ）



甲



乙

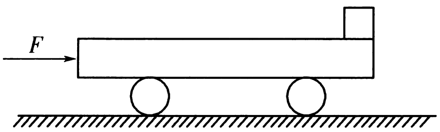
A. 在 0 ~ 2 s 时间内，小滑块与长木板间的摩擦力不变

B. 在 2 ~ 3 s 时间内，小滑块与长木板间的摩擦力在数值上等于 m_2 的大小

C. m_1 与 m_2 之比为 1 ： 2

D. 当小滑块从长木板上脱离时，其速度比长木板小 0.5 m/s

10. 如图所示，质量 $M=8$ kg 的小车放在光滑的水平面上，在小车左端加一水平推力 $F=8$ N，当小车向右运动的速度达到 1.5 m/s 时，在小车前端轻轻地放上一个大小不计、质量为 $m=2$ kg 的小物块，物块与小车间的动摩擦因数 $\mu=0.2$，小车足够长. 求：（取 $g=10\ \mathrm{m/s^2}$）

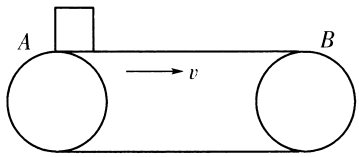


（1）放上小物块后，小物块及小车的加速度各为多大？

（2）经多长时间两者达到相同的速度？

（3）从小物块放上小车开始，经过 $t=1.5$ s 小物块通过的位移大小为多少？

11. 如图所示,水平传送带两个转动轴轴心相距 $L=20\ \text{m}$,正以 $v=4.0\ \text{m/s}$ 的速度匀速向右传动,某物块(可视为质点)与传送带之间的动摩擦因数为 0.1,将该物块从传送带左端无初速度地轻放在传送带上,从左端运动到右端,(g 取 $10\ \text{m/s}^2$)求:

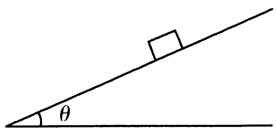


(1)物块运动的时间;

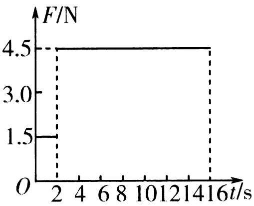
(2)物块相对于传送带运动的相对位移大小;

(3)若提高传送带的速度,可以使物块从传送带的一端传到另一端所用的时间缩短. 为使物块传到另一端所用的时间最短,传送带的最小速度是多少? 最小时间是多少?

12. 如图甲所示为一倾角 $\theta=37°$足够长的斜面，将一质量 $m=1$ kg 的物体在斜面上静止释放，同时施加一沿斜面向上的拉力，拉力随时间变化关系图象如图乙所示，物体与斜面间动摩擦因数 $\mu=0.25$. 取 $g=10$ m/s^2，$\sin 37°=0.6$，$\cos 37°=0.8$，求：



甲

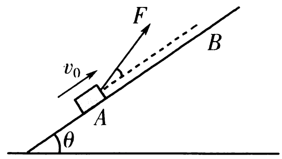


乙

(1)2 s 末物体的速度大小；

(2)前 16 s 内物体发生的位移.

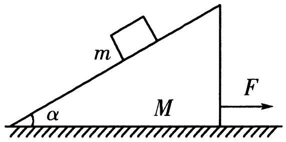
13. 如图所示,一质量 $m=0.4$ kg 的小物块,在与斜面成某一夹角的拉力 F 作用下,沿斜面向上做匀加速运动,经 $t=2$ s 的时间物块由 A 点运动到 B 点,物块在 A 点的速度为 $v_0=2$ m/s,A、B 之间的距离 $L=10$ m. 已知斜面倾角 $\theta=30°$,物块与斜面之间的动摩擦因数 $\mu=\frac{\sqrt{3}}{3}$. 重力加速度 g 取 10 m/s^2.



(1)求物块加速度的大小及到达 B 点时速度的大小.

(2)拉力 F 与斜面夹角多大时,拉力 F 最小? 拉力 F 的最小值是多少?

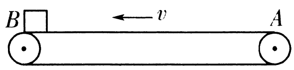
14. 如图所示，静止在光滑水平面上的斜面体，质量为 M，倾角为 α，其斜面上有一静止的滑块，质量为 m，两者之间的动摩擦因数为 μ，滑块受到的最大静摩擦力可认为等于滑动摩擦力，重力加速度为 g. 现给斜面体施加水平向右的力使斜面体加速运动，求：



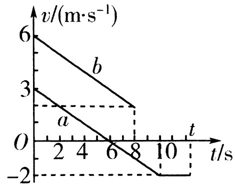
(1)若要使滑块与斜面体一起加速运动，图中水平向右的力 F 的最大值；

(2)若要使滑块做自由落体运动，图中水平向右的力 F 的最小值.

15. 图甲为一转动的传送带 AB,传送带以恒定的速率 v 逆时针转动. 在传送带的左侧边缘的 B 点有一滑块,若让滑块以向右的初速度 $v_1=3\ \mathrm{m/s}$ 冲上传送带,滑块运动的 $v-t$ 图象如图乙中 a 所示,若让滑块以向右的初速度 $v_2=6\ \mathrm{m/s}$ 冲上传送带,滑块运动的 $v-t$ 图象如图乙中 b 所示. g 取 $10\ \mathrm{m/s^2}$,求:



甲

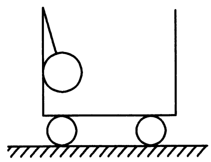


乙

(1)传送带的长度 l 和传送带与物块之间的动摩擦因数 μ;

(2)滑块以初速度 $v_1=3\ \mathrm{m/s}$ 冲上传送带时,滑块返回 B 点的时间.

16. 如图所示,质量为 4 kg 的小球用细绳拴着吊在行驶的汽车后壁上,绳与竖直方向夹角为 37°. 已知 $g=10\ \mathrm{m/s^2}$, $\sin 37°=0.6$, $\cos 37°=0.8$,求:



(1)当汽车以 $a=2\ \mathrm{m/s^2}$ 向右匀减速行驶时,细线对小球的拉力和小球对车后壁的压力;

(2)当汽车以 $a'=10\ \mathrm{m/s^2}$ 的加速度向右匀减速运动时,细线对小球的拉力和小球对车后壁的压力.

必修2　第四章　曲线运动　万有引力

第一讲　运动的合成与分解

内容导读

本讲重点讲曲线运动的概念、特点及条件和运动的合成与分解法则.

典例剖析

【例1】小船匀速横渡一条河流,当船头垂直对岸方向航行时,在出发后10 min到达对岸下游120 m处;若船头保持与河岸成θ角向上游航行,则在出发后12.5 min到达正对岸,求:

(1)水流速度大小v_1;

(2)船在静水中的速度大小v_2;

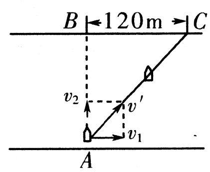
(3)河的宽度;

(4)船头与河岸的夹角θ.

●解析

[**答案**]　(1)0.2 m/s　(2)$\frac{1}{3}$ m/s　(3)200 m　(4)53°

[**分析**]



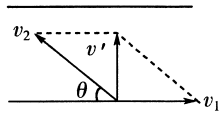
甲

如图甲所示,设水流速度大小为v_1,

则:$v_1=\frac{BC}{t_1}=\frac{120}{10\times60}$ m/s $=0.2$ m/s

又有:$v_2=\frac{d}{t_1}$

解析



乙

如图乙所示,据题意有 $t_2=\dfrac{d}{v_2\sin\theta}$

$v_2\cos\theta=v_1$

解得:$d=200\ \text{m}$

$v_2=\dfrac{1}{3}\ \text{m/s}$

$\theta=53°$.

[**小结**]

1. 记住一点:船的实际运动是水流的运动和船相对静水运动的合运动.

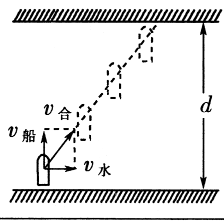
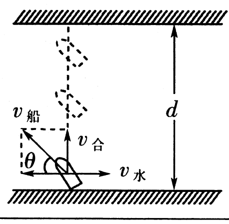
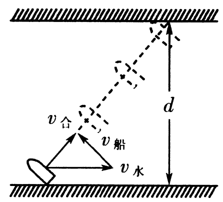
2. 会区分三种速度

$v_{船}$ 为船在静水中的速度;

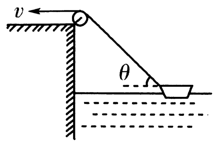
$v_{水}$ 为水的流速;

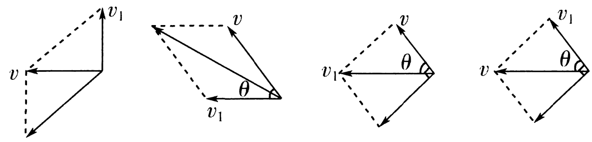
$v_{合}$ 为船的实际速度.

3. 会分析两种情况

情况	图示	说明
最短时间渡河		当船头垂直河岸时,渡河时间最短,最短时间 $t_{min}=\dfrac{d}{v_{船}}$
最短位移渡河		当 $v_{水}<v_{船}$ 时,如果满足 $v_{水}-v_{船}\cos\theta=0$,渡河位移最短,$x_{min}=d$
		$v_{水}>v_{船}$ 时,如果船头方向(即 $v_{船}$ 方向)与合速度方向垂直,渡河位移最短,最短渡河位移为 $x_{min}=\dfrac{dv_{水}}{v_{船}}$

【例2】如图所示,人在河岸上用轻绳拉船,某时刻人的速度为 v,船的速度为 v_1,绳与水平方向的夹角为 θ,则下列有关速度的合成或分解图正确的是 ( )





解析

[**答案**] C

[**分析**]

实际发生的运动为合运动,小船实际水平向左运动,因此合速度即 v_1 水平向左,选项 A、B、D 错误;船在运动的同时,绳子长度变短,因此一个分速度沿绳子方向,与人的速度 v 大小相同,除去绳子长度变化不考虑,即可发现另外一个效果是绳子和竖直方向的夹角变小,即在以定滑轮为圆心、以绳长为半径做圆周运动,线速度方向和绳子垂直,所以另外一个分速度是和绳子垂直的,选项 C 正确.

[**小结**]

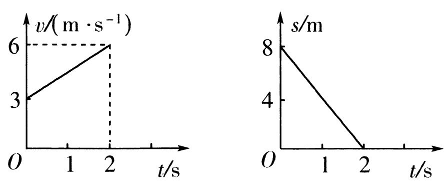
解决绳(杆)端速度分解问题的技巧:

(1)明确分解谁——分解不沿绳(杆)方向运动物体的速度;

(2)知道如何分解——沿绳(杆)方向和垂直绳(杆)方向分解;

(3)求解依据——因为绳(杆)不能伸长,所以沿绳(杆)方向的速度分量大小相等.

【例3】质量为 2 kg 的质点在 xOy 平面上做曲线运动,在 x 方向的速度图象和 y 方向的位移图象如图所示,下列说法正确的是 ( )



A. 质点的初速度为 3 m/s

B. 2 s 末质点速度大小为 6 m/s

C. 质点做曲线运动的加速度为 3 m/s^2

D. 质点所受的合外力为 3 N

解析

[**答案**] D

[**分析**]

在位移－时间图象中,图象的斜率表示速度,故质点在 y 方向上做 $v_y = -4\ \mathrm{m/s}$ 的匀速直线运动,质点在 x 方向上的初速度为 $v_{x0} = 3\ \mathrm{m/s}$,所以质点的初速度为 $v_0 = \sqrt{v_{x0}^2 + v_y^2} = 5\ \mathrm{m/s}$,选项 A 错误;2 s 末质点在 x 轴方向上的速度为 $v_{x2} = 6\ \mathrm{m/s}$,在 y 方向上的速度为 $v_y = -4\ \mathrm{m/s}$,所以质点的合速度不等于 6 m/s,选项 B 错误;因为质点在 x 轴方向上做匀加速直线运动,在 y 轴方向上做匀速直线运动,故质点做曲线运动的加速度等于 x 轴方向上的加速度,故 $a = \frac{6-3}{2}\ \mathrm{m/s^2} = 1.5\ \mathrm{m/s^2}$,质点受到的合力 $F_{合} = ma = 3\ \mathrm{N}$,选项 C 错误,选项 D 正确.

[**小结**]

1. 合运动和分运动的关系:

  (1)等时性:各个分运动与合运动总是同时开始,同时结束,经历时间相等(不同时的运动不能合成).

  (2)独立性:一个物体同时参与几个分运动时,各分运动独立进行,互不影响.

  (3)等效性:各分运动叠加起来与合运动有完全相同的效果.

  (4)同一性:各分运动与合运动是指同一物体参与的分运动和实际发生的运动,不能是几个不同物体发生的不同运动.

2. 运动的合成与分解的运算法则:运动的合成与分解是指描述运动的各物理量即位移、速度、加速度的合成与分解,由于它们均是矢量,故合成与分解都遵守平行四边形定则.

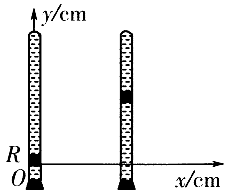
章节练习

1. 一个质点受到两个互成锐角的力 F_1 和 F_2 的作用,由静止开始运动,若运动中保持两个力的方向不变,但 F_1 突然增大 ΔF,则质点此后 (　　)

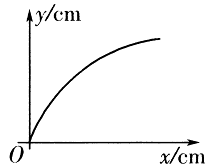
A. 一定做匀变速曲线运动　　B. 在相等时间内速度变化一定相等

C. 可能做变加速曲线运动　　D. 一定做匀变速直线运动

2. 如图甲所示，在一端封闭的光滑细玻璃管中注满清水，水中放一蜡块 R（R 视为质点）. 将玻璃管的开口端用胶塞塞紧后竖直倒置且与 y 轴重合，R 从坐标原点开始运动的轨迹如图乙所示，则蜡块 R 在 x、y 轴方向的运动情况可能是（　　）



甲



乙

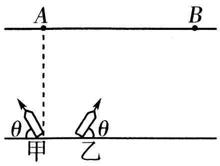
A. x 轴方向匀速直线运动，y 轴方向匀速直线运动

B. x 轴方向匀速直线运动，y 轴方向匀加速直线运动

C. x 轴方向匀减速直线运动，y 轴方向匀加速直线运动

D. x 轴方向匀加速直线运动，y 轴方向匀速直线运动

3. 甲、乙两船在同一河流中同时开始渡河，河水流速为 v_0，两船在静水中的速率均为 v. 甲、乙两船船头均与河岸夹角为 θ，如图所示，已知甲船恰好能垂直到达河正对岸的 A 点，乙船到达河对岸的 B 点，A、B 之间的距离为 L. 则下列判断中正确的是（　　）



A. 甲、乙两船同时到达对岸

B. 若仅是河水流速 v_0 增大，则两船的渡河时间都不变

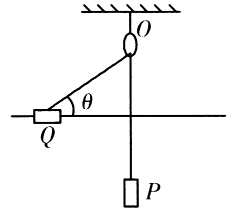
C. 不论河水流速 v_0 如何改变，只要适当改变 θ，甲船总能到达正对岸的 A 点

D. 若仅是河水流速 v_0 增大，则两船到达对岸时，两船之间的距离仍然为 L

4. 有甲、乙两只船，它们在静水中航行速度分别为 v_1 和 v_2，现在两船从同一渡口向河对岸开去，已知甲船想用最短时间渡河，乙船想用最短航程渡河，结果两船抵达对岸的地点恰好相同. 则甲、乙两船渡河所用时间之比 $\frac{t_1}{t_2}$ 为（　　）

A. $\frac{v_2^2}{v_1}$　　B. $\frac{v_1}{v_2}$　　C. $\frac{v_2^2}{v_1^2}$　　D. $\frac{v_1^2}{v_2^2}$

5. 如图所示，水平光滑长杆上套有一物块 Q，跨过悬挂于 O 点的轻小光滑圆环的轻绳一端连接 Q，另一端悬挂一物块 P. 设轻绳的左边部分与水平方向的夹角为 θ，初始时 θ 很小. 现将 P、Q 由静止同时释放，关于 P、Q 以后的运动情况下列说法中正确的是 (　　)



A. 当 $\theta=60°$ 时，P、Q 的速度之比是 $\sqrt{3}:2$

B. 当 $\theta=90°$ 时，Q 的速度最大

C. 当 $\theta=90°$ 时，Q 的速度为零

D. 当 θ 向 90°增大的过程中 Q 的合力一直增大

6. 一质量为 m 的质点起初以速度 v_0 做匀速直线运动，在 $t=0$ 时开始受到恒力 F 作用，速度大小先减小后增大，其最小值为 $v=0.5v_0$，由此可判断 (　　)

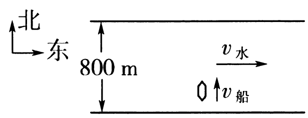
A. 质点受到恒力 F 作用后一定做匀变速曲线运动

B. 质点受到恒力 F 作用后可能做圆周运动

C. $t=0$ 时恒力 F 方向与速度 v_0 方向之间的夹角为 60°

D. 恒力 F 作用时间 $\frac{\sqrt{3}mv_0}{2F}$ 时质点速度最小

7. 如图所示，河水由西向东流，河宽为 800 m，河中各点的水流速度大小为 $v_水$，各点到较近河岸的距离为 x，$v_水$ 与 x 的关系为 $v_水=\frac{3}{400}x$ (m/s) (x 的单位为 m)，让小船船头垂直河岸由南向北渡河，小船划水速度大小恒为 $v_船=4$ m/s，则下列说法中正确的是 (　　)



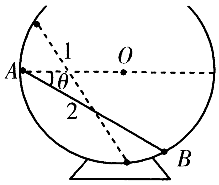
A. 小船渡河的轨迹为直线

B. 小船在河水中的最大速度是 5 m/s

C. 小船在距南岸 200 m 处的速度小于在距北岸 200 m 处的速度

D. 小船渡河的时间是 160 s

8. 如图所示，一轻杆两端分别固定质量为 m_A 和 m_B 的两个小球 A 和 B(可视为质点). 将其放在一个光滑球形容器中从位置 1 开始下滑，当轻杆到达位置 2 时球 A 与球形容器球心等高，其速度大小为 v_1，已知此时轻杆与水平方向成 $\theta=30°$角，B 球的速度大小为 v_2，则 ( )



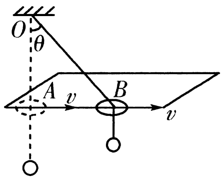
A. $v_2=\frac{1}{2}v_1$

B. $v_2=2v_1$

C. $v_2=v_1$

D. $v_2=\sqrt{3}v_1$

9. 如图所示，细绳一端固定在天花板上的 O 点，另一端穿过一张 CD 光盘的中央小孔后拴着一个橡胶球，橡胶球静止时，竖直悬线刚好挨着水平桌面的边沿. 现将 CD 光盘按在桌面上，并沿桌面边缘以速度 v 匀速移动，移动过程中，CD 光盘中央小孔始终紧挨桌面边线，当悬线与竖直方向的夹角为 θ 时，小球上升的速度大小为 ( )



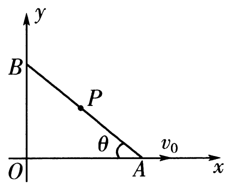
A. $v\sin\theta$

B. $v\cos\theta$

C. $v\tan\theta$

D. $\frac{v}{\tan\theta}$

10. 在光滑的水平面内建立如图所示的直角坐标系，光滑细杆 AB 的两个端点 A、B 被分别约束在 x 轴和 y 轴上运动，现让 A 沿 x 轴正方向以 v_0 匀速运动，已知 P 点为杆 AB 的中点，杆 AB 与 x 轴的夹角为 θ. 下列关于 P 点的运动轨迹和 P 点的运动速度大小 v 的表达式中正确的是 ( )



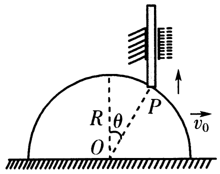
A. P 点的运动轨迹是一条直线

B. P 点的运动轨迹是圆的一部分

C. P 点的运动速度大小 $v=v_0\tan\theta$

D. P 点的运动速度大小 $v=\frac{v_0}{2\sin\theta}$

11. 一个半径为 R 的半圆形柱体沿水平方向向右以速度 v_0 匀速运动，在半圆形柱体上搁置一根竖直杆，此杆只能沿竖直方向运动，如图所示. 当杆与半圆柱体接触点与柱心的连线 OP 与竖直方向的夹角为 θ 时，求竖直杆运动的速度.



12. 水平桌面上有两个玩具车 A 和 B，两者用一轻质细橡皮筋相连，在橡皮筋上有一红色标记 R. 在初始时橡皮筋处于拉直状态，A、B 和 R 分别位于直角坐标系中的 $(0,2l)$、$(0,-l)$ 和 $(0,0)$ 点. 已知 A 从静止开始沿 y 轴正方向做加速度大小为 a 的匀加速运动；B 平行于 x 轴朝 x 轴正方向匀速运动. 在两车此后运动的过程中，标记 R 在某时刻通过点 (l,l). 假设橡皮筋的伸长是均匀的，求 B 运动速度的大小.

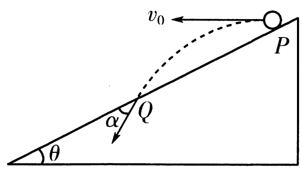
第二讲 抛体运动

内容导读

平抛运动是经典的曲线运动,处理平抛运动时化曲线为直线,把平抛运动分解成水平方向的匀速直线运动和竖直方向的自由落体运动,然后结合数学上的几何关系进行求解.

典例剖析

【例 1】如图所示,从倾角为 θ 的足够长的斜面顶端 P 以速度 v_0 水平抛出一个小球,落在斜面上某处 Q 点,小球落在斜面上的速度与斜面的夹角为 α. 若把初速度变为 $2v_0$,小球仍落在斜面上,则以下说法中正确的是 ( )



A. 夹角 α 将变大　　B. 夹角 α 与初速度大小无关

C. 小球在空中的运动时间不变　　D. P、Q 间距是原来间距的 3 倍

解析

[**答案**] B

[**分析**]

根据 $\tan\theta=\dfrac{\frac{1}{2}gt^2}{v_0t}=\dfrac{gt}{2v_0}$得小球在空中运动的时间 $t=\dfrac{2v_0\tan\theta}{g}$,因为初速度变为原来的 2 倍,则小球运动的时间变为原来的 2 倍,选项 C 错误;速度与水平方向的夹角的正切值 $\tan\beta=\dfrac{gt}{v_0}=2\tan\theta$,因为 θ 不变,则速度与水平方向的夹角不变,可知 α 不变,与初速度大小无关,选项 A 错误,选项 B 正确;P、Q 的间距 $s=\dfrac{x}{\cos\theta}=\dfrac{v_0t}{\cos\theta}=\dfrac{2v_0^2\tan\theta}{g\cos\theta}$,初速度变为原来的 2 倍,则 P、Q 的间距变为原来的 4 倍,选项 D 错误.

●解析

［小结］

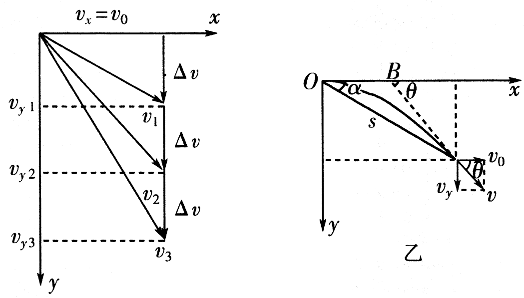
1. 速度改变量为恒量：

平抛运动的加速度为重力加速度 g，所以做平抛运动的物体在任意相等时间间隔 Δt 内的速度改变量 $\Delta v=g\Delta t$ 相同，方向恒为竖直向下，如图甲所示.

2. 两个重要推论：

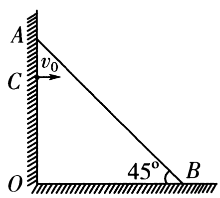
(1)做平抛(或类平抛)运动的物体任一时刻的瞬时速度的反向延长线一定通过此时水平位移的中点，如图乙所示.

(2)做平抛(或类平抛)运动的物体在任一时刻，设其速度方向与水平方向的夹角为 θ，位移与水平方向的夹角为 α，则 $\tan\theta=2\tan\alpha$，如图乙所示.



甲　　乙

【例2】如图所示，蜘蛛在地面与竖直墙壁之间结网，蛛丝 AB 与水平地面间的夹角为45°，A 点到地面的距离为1 m. 已知重力加速度 g 取10 m/s^2，空气的阻力可忽略不计，若蜘蛛从竖直墙上距地面0.8 m 的 C 点以水平速度 v_0 跳出，要到达蛛丝，水平速度 v_0 至少为　　(　　)



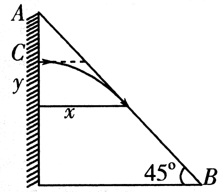
A. 1 m/s　　B. 2 m/s

C. 2.5 m/s　　D. $\sqrt{5}$ m/s

• 解析

［答案］ B

［分析］



蜘蛛运动轨迹与蛛丝 AB 相切，如图所示，AC 之间距离为

$AC = 1\ \text{m} - 0.8\ \text{m} = 0.2\ \text{m}$

由图知：$x = y + 0.2\ \text{m}$ ①

由平抛规律知：$\tan 45° = \dfrac{gt}{v_0}$ ②

$x = v_0 t$ ③

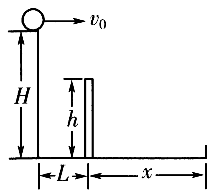
$y = \dfrac{1}{2}gt^2$ ④

联立①②③④解得：$v_0 = 2\ \text{m/s}$，选项 B 正确.

［小结］

蜘蛛从竖直墙上距地面 0.8 m 的 C 点以水平速度 v_0 跳出，刚好到达蛛丝，蜘蛛的轨迹刚好和蛛丝相切.

【例3】如图所示，水平屋顶高 $H = 5\ \text{m}$，围墙高 $h = 3.2\ \text{m}$，围墙到房子的水平距离 $L = 3\ \text{m}$，围墙外马路宽 $x = 10\ \text{m}$，为使小球从屋顶水平飞出落在围墙外的马路上，小球离开屋顶时的速度 v_0 的大小的可能值为(g 取 $10\ \text{m/s}^2$) （ ）



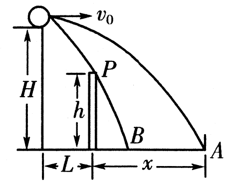
A. 6 m/s　　　　B. 12 m/s

C. 4 m/s　　　　D. 2 m/s

● 解析

［答案］ AB

［分析］



若 v_0 太大，小球将落在马路外边，因此，要使小球落在马路上，v_0 的最大值 v_m 为小球落在马路最右侧 A 点时的平抛初速度，如图所示，小球做平抛运动，设运动时间为 t_1，则：

水平方向有：$L+x=v_mt_1$

竖直方向有：$H=\frac{1}{2}gt_1^2$

解得：$v_m=(L+x)\sqrt{\frac{g}{2H}}=13\ \mathrm{m/s}$；

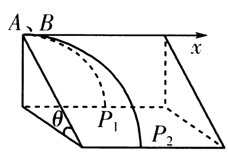
若 v_0 太小，小球将被围墙挡住，不能落在马路上，因此 v_0 的最小值 v_{min} 为小球恰好越过围墙的最高点 P 落在马路上 B 点时的平抛初速度，设小球运动到 P 点所需时间为 t_2，则此过程中水平方向有 $L=v_{min}t_2$，竖直方向有 $H-h=\frac{1}{2}gt_2^2$，解得 $v_{min}=L\sqrt{\frac{g}{2(H-h)}}=5\ \mathrm{m/s}$，故初速度 v_0 的值满足 $5\ \mathrm{m/s}<v_0<13\ \mathrm{m/s}$ 的都可以，选项 A、B 正确.

［小结］

物体做平抛运动的水平位移为 $x=v_0t$，竖直位移为 $y=\frac{1}{2}gt^2$，进一步可得：

$v_0=x\sqrt{\frac{g}{2y}}$.

【例 4】A、B 两个质点以相同的水平速度 v_0 抛出，A 在竖直平面内运动，落地点为 P_1. B 沿光滑斜面运动，落地点为 P_2，不计阻力，如图所示. 下列比较 P_1、P_2 在 x 轴上远近关系的判断中正确的是 （　　）



A. P_1 较远　　B. P_2 较远

C. P_1、P_2 等远　　D. A、B 两项都有可能

●解析

［答案］ B

［分析］

A 质点水平抛出后，只受重力，做平抛运动，在竖直方向有 $h=\frac{1}{2}gt_1^2$；

B 质点水平抛出后，受重力和支持力，在斜面平面内所受合力为 $mg\sin\theta$，大小恒定且与初速度方向垂直，所以 B 质点做类平抛运动. 在沿斜面向下方向上 $\frac{h}{\sin\theta}=\frac{1}{2}g\sin\theta\, t_2^2$，由此得 $t_2>t_1$，由于二者在水平方向（x 轴方向）上都做速度为 v_0 的匀速运动，显然 $x_2>x_1$，故选项 B 正确.

［小结］

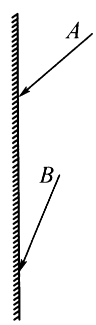
类平抛运动的求解方法：

（1）常规分解法：将类平抛运动分解为沿初速度方向的匀速直线运动和垂直于初速度方向（即沿合力的方向）的匀加速直线运动. 两分运动彼此独立，互不影响，且与合运动具有等时性.

（2）特殊分解法：对于有些问题，可以过抛出点建立适当的直角坐标系，将加速度 a 分解为 a_x、a_y，初速度 v_0 分解为 v_x、v_y，然后分别在 x、y 方向列方程求解.

章节练习

1. 如图所示为飞镖比赛时打在镖盘上的两支飞镖，A 飞镖的方向与竖直方向的夹角大于 B 飞镖的方向与竖直方向的夹角. 若飞镖沿水平方向掷出，两飞镖的抛出点在同一竖直线上，忽略空气阻力. 下列说法中正确的是（　　）



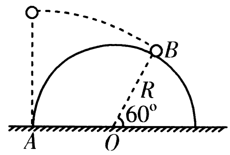
A. A、B 两飞镖的掷出点一定在同一点

B. A 飞镖的掷出点一定比 B 飞镖的掷出点高

C. A 飞镖掷出的初速度一定比 B 飞镖掷出的初速度大

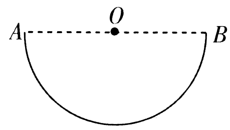
D. A 飞镖在空中飞行时间一定比 B 飞镖在空中飞行时间长

2. 如图所示，一小球从一半圆轨道左端 A 点正上方某处开始做平抛运动（小球可视为质点），飞行过程中恰好与半圆轨道相切于 B 点. O 为半圆轨道圆心，半圆轨道半径为 R，OB 与水平方向夹角为 60°，重力加速度为 g，则小球抛出时的初速度为（　　）



A. $\sqrt{\frac{3gR}{2}}$　　B. $\frac{\sqrt{3gR}}{2}$　　C. $\sqrt{\frac{3\sqrt{3}gR}{2}}$　　D. $\frac{\sqrt{\sqrt{3}gR}}{2}$

3. 有一半圆形轨道在竖直平面内,如图所示,O 为圆心,AB 为水平直径,有一质点从 A 点以不同速度向右平抛,不计空气阻力,在小球从抛出到碰到轨道这个过程中,下列说法中正确的是　　(　　)



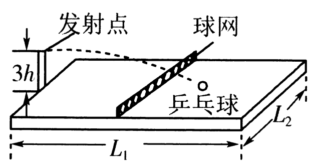
A. 初速度越大的小球运动时间越长

B. 初速度不同的小球运动时间可能相同

C. 落在圆形轨道最低点的小球末速度一定最大

D. 小球落到半圆形轨道的瞬间,速度方向可能沿半径方向

4. 一带有乒乓球发射机的乒乓球台如图所示,水平台面的长和宽分别为 L_1 和 L_2,中间球网高度为 h. 发射机安装于台面左侧边缘的中点,能以不同速率向右侧不同方向水平发射乒乓球,发射点距台面高度为 $3h$. 不计空气阻力,重力加速度大小为 g. 若乒乓球的发射速率 v 在某范围内,通过选择合适的方向,就能使乒乓球落到球网右侧台面上,则 v 的最大取值范围是　　(　　)



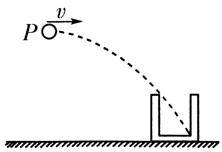
A. $\frac{L_1}{2}\sqrt{\frac{g}{6h}}<v<L_1\sqrt{\frac{g}{6h}}$

B. $\frac{L_1}{4}\sqrt{\frac{g}{h}}<v<\sqrt{\frac{(4L_1^2+L_2^2)g}{6h}}$

C. $\frac{L_1}{2}\sqrt{\frac{g}{6h}}<v<\sqrt{\frac{(4L_1^2+L_2^2)g}{6h}}$

D. $\frac{L_1}{4}\sqrt{\frac{g}{h}}<v<\frac{1}{2}\sqrt{\frac{(4L_1^2+L_2^2)g}{6h}}$

5. 如图所示，在投球游戏中，某人将小球从 P 点以速度 v 水平抛向固定在水平地面上的塑料筐，小球恰好沿着筐的上沿入筐并打在筐的底角，若要让小球进入筐中并直接击中筐底正中间，下列说法中可行的是 (　　)



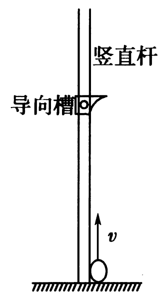
A. 在 P 点将小球以小于 v 的速度水平抛出

B. 在 P 点将小球以大于 v 的速度水平抛出

C. 在 P 点正上方某位置将小球以小于 v 的速度水平抛出

D. 在 P 点正下方某位置将小球以小于 v 的速度水平抛出

6. 在竖直杆上安装一个光滑小导向槽，使竖直上抛的小球能改变方向后做平抛运动. 不计经导向槽时小球的能量损失，设小球从地面沿杆竖直上抛的速度大小为 v，重力加速度为 g，那么当小球有最大水平位移时，下列说法中正确的是 (　　)



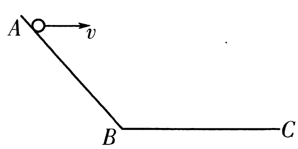
A. 导向槽位置应在高为$\frac{v^2}{4g}$的位置

B. 最大水平距离为$\frac{v^2}{g}$

C. 小球在上、下两过程中，在经过某相同高度时，合速度的大小总有 $v_{下}=2v_{上}$

D. 当小球落地时，速度方向与水平方向成45°角

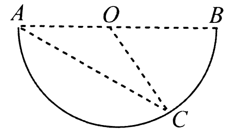
7. 如图所示，AB 为斜面，BC 为水平面. 从 A 点以水平初速度 v 向右抛出一小球，其第一落点与 A 的水平距离为 s_1，从 A 点以水平初速度 $2v$ 向右抛出一小球，其第一落点与 A 的水平距离为 s_2. 不计空气阻力，则 $s_1:s_2$ 可能为 (　　)



A. 1∶2　　B. 1∶3

C. 1∶4　　D. 1∶5

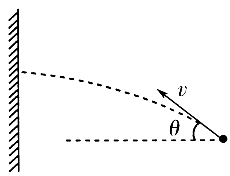
8. 如图所示，AB 是半圆弧的直径，处于水平，O 是圆弧的圆心，C 是圆弧上一点，$\angle OAC = 37°$，已知 $\sin 37° = 0.6$，$\cos 37° = 0.8$，在 A、O 两点分别以一定的初速度同时水平抛出两个小球，结果都落在 C 点，则两个小球抛出的初速度 v_1、v_2 的大小之比为　　(　　)



A. $v_1 : v_2 = 32 : 7$　　B. $v_1 : v_2 = 16 : 7$

C. $v_1 : v_2 = 16 : 3$　　D. $v_1 : v_2 = 16 : 9$

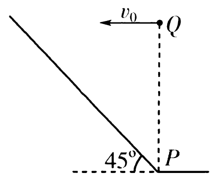
9. 如图所示，将小球以速度 v 沿与水平方向成 $\theta = 37°$ 角斜向上抛出，结果球刚好能垂直打在竖直墙面上，球反弹的瞬间速度方向水平，且速度大小为碰撞前瞬间速度大小的 $\frac{3}{4}$，已知 $\sin 37° = 0.6$，$\cos 37° = 0.8$，空气阻力不计，则当反弹后小球的速度大小再次为 v 时，速度与水平方向夹角的正切值为　　(　　)



A. $\frac{3}{4}$　　B. $\frac{4}{3}$

C. $\frac{3}{5}$　　D. $\frac{5}{3}$

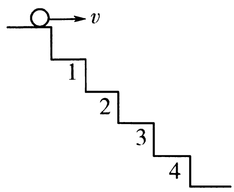
10. 如图所示是倾角为 45°的斜坡，在斜坡底端 P 点正上方某一位置 Q 处以速度 v_0 水平向左抛出一个小球 A，小球恰好能垂直落在斜坡上，运动时间为 t_1. 若在小球 A 抛出的同时，小球 B 从同一点 Q 处开始自由下落，下落至 P 点的时间为 t_2，则 A、B 两球在空中运动的时间之比 $t_1 : t_2$ 等于(不计空气阻力)　　(　　)



A. $1 : 2$　　B. $1 : \sqrt{2}$

C. $1 : 3$　　D. $1 : \sqrt{3}$

11. 一阶梯如图所示，其中每级台阶的高度和宽度都是0.4 m. 一小球以水平速度 v 飞出，重力加速度 g 取 10 m/s^2，欲打在第四台阶上，则 v 的取值范围是 ( )



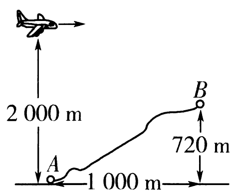
A. $\sqrt{6}$ m/s $< v \leq 2\sqrt{2}$ m/s

B. $2\sqrt{2}$ m/s $< v \leq 3.5$ m/s

C. $\sqrt{2}$ m/s $< v < \sqrt{6}$ m/s

D. $2\sqrt{2}$ m/s $< v < 2\sqrt{6}$ m/s

12. 如图所示，一架在2 000 m 高空以200 m/s 的速度水平匀速飞行的轰炸机，要想用两枚炸弹分别炸山脚和山顶的目标 A 和 B，已知山高720 m，山脚与山顶的水平距离为1 000 m，若不计空气阻力，g 取 10 m/s^2，则投弹的时间间隔应为 ( )



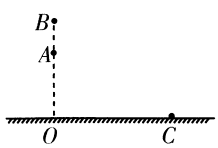
A. 4 s

B. 5 s

C. 9 s

D. 16 s

13. 如图所示，在水平地面上 O 点正上方不同高度的 A、B 两点分别以速度 v_A 和 v_B 水平向右抛出一小球，如果两球均落在同一点 C 上且落到 C 点的速度大小相等，O 点和 C 点的距离为 x，已知重力加速度为 g，则 v_A、v_B 和 x 满足 ( )



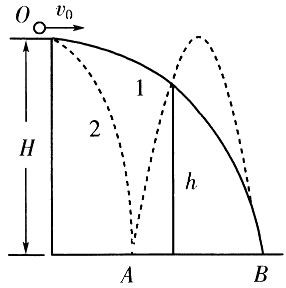
A. $v_Av_B = gx$

B. $v_Av_B = 2gx$

C. $v_Av_B = 4gx$

D. $v_Av_B = 3gx$

14. 如图所示,从高 H 处的一点 O 先后平抛两个小球1和2. 球1恰好直接掠过竖直挡板的顶端(未相碰)落到水平地面上的 B 点,球2则与地面处 A 点碰撞一次后,也恰好掠过竖直挡板落在 B 点. 设球2与地面碰撞无机械能损失(类似遵循光的反射定律),则下列说法正确的是 ( )



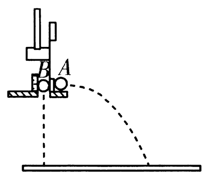
A. 球1平抛的初速度为球2的3倍

B. 球1掠过挡板的时刻恰好是其做平抛运动从 O 到 B 的中间时刻

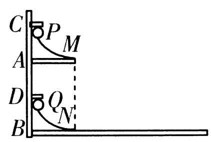
C. A 点到挡板的距离是 B 点到挡板距离的 $\frac{1}{2}$

D. 竖直挡板的高度 $h=\frac{3}{4}H$

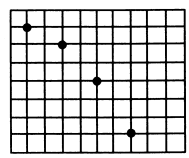
15. 三个同学根据不同的实验条件,进行“探究平抛运动规律”的实验.



图(1)



图(2)

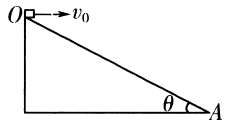

图(3)

(1)甲同学采用如图(1)所示的装置. 用小锤打击弹性金属片,金属片把 A 球沿水平方向弹出,同时 B 球被松开,自由下落,观察到两球同时落地,改变小锤打击的力度,即改变 A 球被弹出时的速度,两球仍然同时落地,这说明________________________.

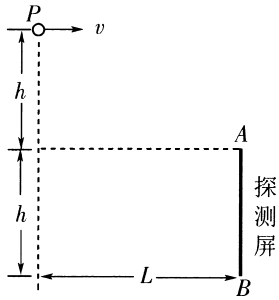
(2)乙同学采用如图(2)所示的装置. 两个相同的弧形轨道 M、N,分别用于发射小铁球 P、Q,其中 N 的末端与可看做光滑的水平板相切;两轨道上端分别装有电磁铁 C、D;调节电磁铁 C、D 的高度,使 $AC=BD$,从而保证小铁球 P、Q 在轨道出口处的水平初速度 v_0 相等. 现将小铁球 P、Q 分别吸在电磁铁 C、D 上,然后切断电源,使两小铁球能以相同的初速度 v_0 同时分别从轨道 M、N 的下端射出. 实验可观察到的现象应是______________.
仅仅改变弧形轨道 M 的高度(保持 AC 不变),重复上述实验,仍能观察到相同的现象,这说明____.

(3)丙同学采用频闪摄影的方法拍摄到如图(3)所示的“小球做平抛运动”的照片. 图中每个小方格的边长为1.25 cm,由图可求得拍摄时每隔____________ s曝光一次,该小球平抛的初速度大小为____________ m/s(g 取 9.8 m/s^2).

16. 如图所示，足够长斜面 OA 的倾角为 θ，固定在水平地面上，现从顶点 O 以速度 v_0 平抛一小球，不计空气阻力，重力加速度为 g，求小球在飞行过程中经过多长时间离斜面最远？最远距离是多少？



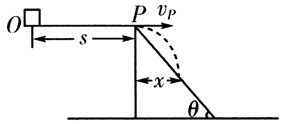
17. 在真空环境内探测微粒在重力场中能量的简化装置如图所示. P 是一个微粒源，能持续水平向右发射质量相同、初速度不同的微粒. 高度为 h 的探测屏 AB 竖直放置，离 P 点的水平距离为 L，上端 A 与 P 点的高度差也为 h.



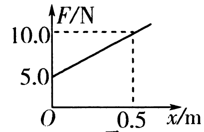
(1)若微粒打在探测屏 AB 的中点，求微粒在空中飞行的时间；

(2)求能被屏探测到的微粒的初速度范围；

18. 用如图甲所示的水平－斜面装置研究平抛运动，一物块(可视为质点)置于粗糙水平面上的 O 点，O 点距离斜面顶端 P 点为 s.



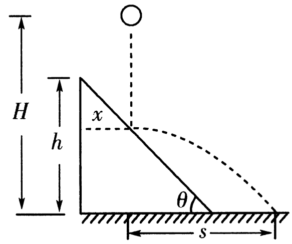
甲



乙

每次用水平拉力 F，将物块由 O 点从静止开始拉动，当物块运动到 P 点时撤去拉力 F. 实验时获得物块在不同拉力作用下落在斜面上的不同水平射程，作出了如图乙所示的图象，若物块与水平部分的动摩擦因数为 0.5，斜面与水平地面之间的夹角 $\theta = 45°$，g 取 $10\ m/s^2$，设最大静摩擦力等于滑动摩擦力. 则 O、P 间的距离 s 是多少？(保留两位有效数字)

19. 如图所示,已知倾角为 $\theta=45°$、高为 h 的斜面固定在水平地面上. 一小球从高为 $H\left(h<H<\frac{5}{4}h\right)$处自由下落,与斜面做无能量损失的碰撞后水平抛出. 小球自由下落的落点距斜面左侧的水平距离 x 满足一定条件时,小球能直接落到水平地面上. 求:



(1)小球落到地面上的速度大小;

(2)要使小球做平抛运动后能直接落到水平地面上,x 应满足的条件;

(3)在满足(2)的条件下,小球运动的最长时间.

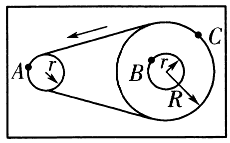
第三讲　圆周运动

内容导读

圆周运动是经典的曲线运动,求解圆周运动问题时,要理解圆周运动的基本概念,要注意圆周运动的向心力的提供.

典例剖析

【例1】如图所示是磁带录音机的磁带盒的示意图,A、B 为缠绕磁带的两个轮子边缘上的点,两轮的半径均为 r,在放音结束时,磁带全部绕到了 B 轮上,磁带的外缘半径 $R=3r$,C 为磁带外缘上的一点,现在进行倒带. 下列说法中正确的是　(　　)



A. A、B、C 三点的周期之比 3∶1∶3

B. A、B、C 三点的线速度之比 3∶3∶1

C. A、B、C 三点的角速度之比 1∶3∶3

D. A、B、C 三点的向心加速度之比 $a_A : a_B : a_C = 9:1:3$

●解析

[**答案**]　D

[**分析**]

倒带时 A 轮边缘与 B 轮外边缘 C 点的线速度相等,由 $v=r\omega$ 可知,$\omega_A=3\omega_C$,$T_A=\frac{1}{3}T_C$,故选项 A、B、C 均错误;由 $a=\frac{v^2}{r}$ 可知,$a_A=3a_C$,由 $a=r\omega^2$ 可知,$a_C=3a_B$,故 $a_A : a_B : a_C=9:1:3$,选项 D 正确.

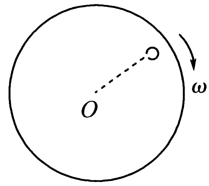
[**小结**]

传动装置的特点:

(1)共轴传动:固定在一起共轴传动的物体上各点角速度相同.

(2)皮带传动、齿轮传动和摩擦传动:皮带(或齿轮)传动和不打滑的摩擦传动的两轮边缘上各点线速度大小相等.

【例2】如图所示，一竖直圆盘上固定着一个质量为 1 kg 的小球，小球与圆盘圆心 O 的距离为 1 m. 现使圆盘绕过圆心 O 的水平轴以大小为$\sqrt{5}$ rad/s 的角速度匀速转动，则圆盘对小球的作用力与竖直方向的最大夹角为(取 $g=10\ m/s^2$)　　(　　)



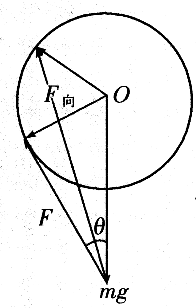
A. 90°　　　　B. 60°

C. 45°　　　　D. 30°

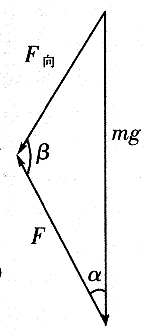
●解析

［答案］ D

［分析］



解法一：小球匀速转动，小球受到的向心力始终指向圆心，小球受到的向心力的大小为 $F_{向}=mr\omega^2=5$ N，小球受到的重力的大小为 $mg=10$ N，圆盘对小球的作用力为 F，以重力的箭尾为圆心，以 $F_{向}$ 的大小为半径做圆，如图所示，当 F 所在的线段和圆相切时，圆盘对小球的作用力与竖直方向的夹角最大，则：$\sin\theta=\frac{5}{10}=\frac{1}{2}$，则 $\theta=30°$，选项 D 正确.



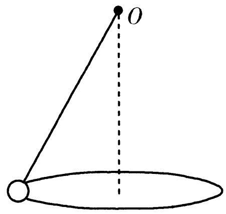
解法二：(利用正弦定理解题)

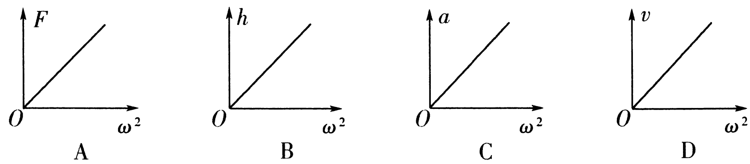
小球匀速转动，小球受到的向心力始终指向圆心，小球受到的向心力的大小为 $F_{向}=mr\omega^2=5$ N，小球受到的重力的大小为 $mg=10$ N，圆盘对小球的作用力为 F，如图所示，画出矢量图，由正弦定理可得：$\frac{mg}{\sin\beta}=\frac{F_{向}}{\sin\alpha}$，则 $\sin\alpha=\frac{1}{2}\sin\beta$，当 $\beta=90°$ 时，α 有最大值 30°，选项 D 正确.

［小结］

做匀速圆周运动的物体，物体受到的向心力始终指向轨迹的圆心且大小不变.

【例3】如图所示,用一根细绳一端系一个小球,另一端固定,给小球不同的初速度,使小球在水平面内做角速度不同的圆周运动,则下列细绳拉力 F、悬点到轨迹圆心高度 h、向心加速度 a、线速度 v 与角速度平方 ω^2 的关系图象正确的是　　(　　)





●解析

[**答案**]　A

[**分析**]

设细绳长度为 L,小球做匀速圆周运动时细绳与竖直方向的夹角为 θ,则有 $F\sin\theta = mL\sin\theta\omega^2$,可得 $F = mL\omega^2$,选项 A 正确;$mg\tan\theta = mL\sin\theta\omega^2$,可得 $h = L\cos\theta = \frac{g}{\omega^2}$,选项 B 错误;小球的向心加速度 $a = \omega^2 L\sin\theta$,选项 C 错误;小球的线速度 $v = L\omega\sin\theta$,选项 D 错误.

[**小结**]

圆锥摆、火车转弯、汽车转弯、飞机在空中盘旋、开口向上的光滑圆锥体内小球绕竖直轴线的圆周运动等,都是水平面内圆周运动的典型实例,其受力特点是合力沿水平方向指向轨迹内侧. 解答此类问题的关键:

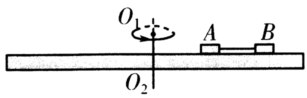
(1)确定做圆周运动的物体所处的平面(水平面);

(2)准确分析向心力的来源及方向(水平指向圆心);

(3)求出轨道半径;

(4)列出动力学方程求解.

【例4】如图所示,两个可视为质点的、质量相同的木块 A 和 B 放在转盘上,两者用长为 L 的细绳连接,木块与转盘的最大静摩擦力均为各自重力的 k 倍,A 放在距离转轴 L 处,整个装置能绕通过转盘中心的转轴 O_1O_2 转动. 开始时,绳恰好伸直但无弹力,现让该装置从静止开始转动,使角速度缓慢增大,以下说法中正确的是　　(　　)



A. 当 $\omega > \sqrt{\frac{2kg}{3L}}$ 时，A、B 相对于转盘会滑动

B. 当 $\omega > \sqrt{\frac{kg}{2L}}$ 时，绳子一定有弹力

C. ω 在 $0 < \omega < \sqrt{\frac{2kg}{3L}}$ 范围内增大时，A 所受摩擦力一直变大

D. ω 在 $\sqrt{\frac{kg}{2L}} < \omega < \sqrt{\frac{2kg}{3L}}$ 范围内增大时，B 所受摩擦力一直变大

● 解析

[**答案**] ABC

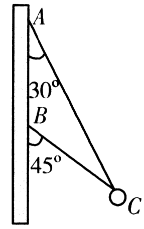
[**分析**]

A、B 放在同一转盘上，故 ω 相同，$f = mr\omega^2$，由于 $r_B > r_A$，故 B 所受向心力大于 A 所受向心力，故随 ω 增大，B 先有向外滑动的趋势，此时为一个临界状态，绳恰好没有拉力，对木块 B 有：$kmg = 2mL\omega^2$，$\omega = \sqrt{\frac{kg}{2L}}$，那么当 $\omega > \sqrt{\frac{kg}{2L}}$ 时，绳一定有弹力，选项 B 正确；当 $\omega > \sqrt{\frac{kg}{2L}}$ 时，对 A 有：$f_A - F = mL\omega^2$，对 B 有：$F' + kmg = 2mL\omega^2$，$F = F'$，进一步可得：$f_A + kmg = 3mL\omega^2$，A、B 刚好相对转盘会滑动，$f_A = kmg$，$2kmg = 3mL\omega^2$，$\omega = \sqrt{\frac{2kg}{3L}}$，那么当 $\omega > \sqrt{\frac{2kg}{3L}}$ 时，A、B 相对转盘会滑动，选项 A 正确；当 $0 < \omega < \sqrt{\frac{2kg}{3L}}$ 时，A 所受静摩擦力和拉力的合力提供向心力，随 ω 增大，f_A 增大，故 A 所受的摩擦力增大，选项 C 正确；当 $\sqrt{\frac{kg}{2L}} < \omega < \sqrt{\frac{2kg}{3L}}$ 时，B 相对转盘已有了滑动趋势，静摩擦力达到最大为 kmg，不变，选项 D 错误.

[**小结**]

解决临界(极值)问题的一般思路，首先要考虑达到临界条件时物体所处的状态，其次分析该状态下物体的受力特点，最后结合圆周运动知识，列出相应的动力学方程综合分析.

【例 5】如图所示,AC、BC 两绳系一质量为 $m=0.1$ kg 的小球,AC 绳长 $L=2$ m,两绳的另一端分别固定于轴的 A、B 两处,两绳拉直时与竖直轴的夹角分别为 30°和 45°. 小球在水平面内做匀速圆周运动时,若两绳中始终有张力,小球的角速度可能是($g=10$ m/s^2)　　(　　)



A. 2 rad/s　　B. 2.5 rad/s

C. 3 rad/s　　D. 4 rad/s

●解析

[答案]　BC

[分析]

当 BC 绳刚好拉直时(BC 绳中的张力为零),此时小球的角速度最小,则有 $mg\tan 30°=m\omega_{\min}^2 L\sin 30°$,解得:$\omega_{\min}=\sqrt{\dfrac{g}{L\cos 30°}}$,代入数据得 $\omega_{\min}\approx 2.4$ rad/s;当角速度继续增大时,AC 绳中拉力减小,BC 绳中张力增大,当 AC 绳中拉力为零(AC 绳刚好拉直)时,小球角速度最大,则有 $mg\tan 45°=m\omega_{\max}^2 L\sin 30°$,代入数据得 $\omega_{\max}\approx 3.16$ rad/s,综上所述可得:选项 B、C 项正确.

[小结]

圆周运动中的常用临界条件:

(1)绳子松弛,绳子张力为零.

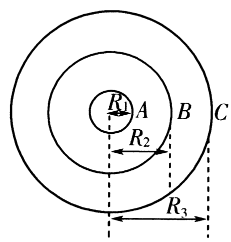
(2)绳子刚好拉断或刚好不断,绳子张力最大.

(3)两接触物体在接触面上刚好脱离或不脱离,则两物体接触面间相互作用力为零.

(4)物体刚好不滑动,则静摩擦力达到最大.

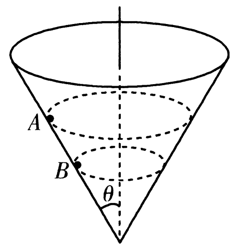
章节练习

1. 光盘驱动器读取数据的某种方式可简化为以下模式:在读取内环数据时,以恒定角速度的方式读取,而在读取外环数据时,以恒定线速度的方式读取. 如图所示,设内环内边缘半径为 R_1,内环外边缘半径为 R_2,外环外边缘半径为 R_3. A、B、C 分别为各边缘上的点,则读取内环上 A 点时 A 点的向心加速度大小和读取外环上 C 点时 C 点的向心加速度大小之比为　　(　　)



A. $\dfrac{R_1^2}{R_2R_3}$　　B. $\dfrac{R_2^2}{R_1R_3}$　　C. $\dfrac{R_2R_3}{R_1^2}$　　D. $\dfrac{R_1R_3}{R_2^2}$

2. 如图所示，一个内壁光滑的圆锥筒固定在地面上，圆锥筒的轴线竖直. 一个小球贴着筒的内壁在水平面内做圆周运动，由于微弱的空气阻力作用，小球的运动轨迹由 A 轨道缓慢下降到 B 轨道，则在此过程中 （　　）



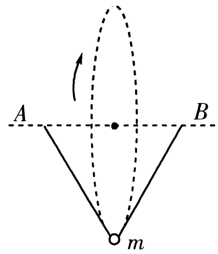
A. 小球的向心加速度逐渐减小

B. 小球运动的角速度逐渐减小

C. 小球运动的线速度逐渐减小

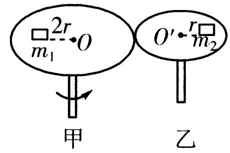
D. 小球运动的周期逐渐减小

3. 如图所示，长度均为 $L=1$ m 的两根轻绳，一端共同系住质量为 $m=0.5$ kg 的小球，另一端分别固定在等高的 A、B 两点，A、B 两点间的距离也为 L，重力加速度 g 取 10 m/s^2. 现使小球在竖直平面内以 AB 为轴做圆周运动，若小球在最高点速率为 v 时，每根绳的拉力恰好为零，则小球在最高点速率为 $2v$ 时，每根绳的拉力大小为 （　　）



A. $5\sqrt{3}$ N　　B. $\frac{20\sqrt{3}}{3}$ N　　C. 15 N　　D. $10\sqrt{3}$ N

4. 如图所示，甲、乙两水平圆盘紧靠在一块，甲圆盘为主动轮，乙圆盘靠摩擦随甲转动且无相对滑动. 甲圆盘与乙圆盘的半径之比为 $r_甲:r_乙=3:1$，两圆盘和小物体 m_1、m_2 之间的动摩擦因数相同，m_1 距 O 点为 $2r$，m_2 距 O'点为 r，当甲圆盘缓慢转动起来且转速慢慢增加时 （　　）



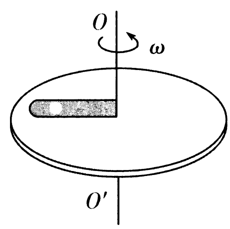
A. m_1 与 m_2 滑动前的角速度之比 $\omega_1:\omega_2=3:1$

B. m_1 与 m_2 滑动前的向心加速度之比 $a_1:a_2=1:3$

C. 随转速慢慢增加，m_1 先开始滑动

D. 随转速慢慢增加，m_2 先开始滑动

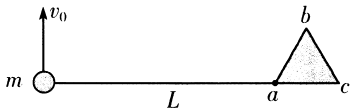
5. 在玻璃管中放一个乒乓球后注满水，然后用软木塞封住管口，将此玻璃管固定在转盘上，管口置于转盘转轴处，处于静止状态. 当转盘在水平面内转动时，如图所示，则乒乓球会(球直径比管直径略小) （　　）



A. 向管底运动　　B. 向管口运动

C. 保持不动　　D. 无法判断

6. 在光滑水平桌面中央固定一边长为 0.3 m 的小正三棱柱 abc，俯视图如图所示. 长度为 $L=1$ m 的细线，一端固定在 a 点，另一端拴住一个质量为 $m=0.5$ kg、不计大小的小球. 初始时刻，把细线拉直在 ca 的延长线上，并给小球以 $v_0=2$ m/s 且垂直于细线方向的水平速度，由于光滑三棱柱的存在，细线逐渐缠绕在三棱柱上（不计细线与三棱柱碰撞过程中的能量损失）. 已知细线所能承受的最大张力为 7 N，则下列说法中正确的是 （　　）



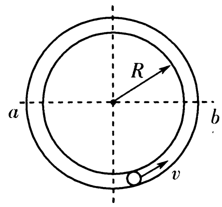
A. 细线断裂之前，小球速度的大小保持不变

B. 细线断裂之前，小球的速度逐渐减小

C. 细线断裂之前，小球运动的总时间为 0.7π s

D. 细线断裂之前，小球运动的位移大小为 0.9 m

7. 如图所示，小球在竖直放置的光滑圆形管道内做圆周运动，内侧壁半径为 R，小球半径为 r，则下列说法中正确的是 （　　）



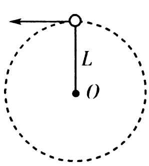
A. 小球通过最高点时的最小速度 $v_{min}=\sqrt{g(R+r)}$

B. 小球通过最高点时的最小速度 $v_{min}=0$

C. 小球在水平线 ab 以下的管道中运动时，外侧管壁对小球一定无作用力

D. 小球在水平线 ab 以上的管道中运动时，内侧管壁对小球一定有作用力

8. 如图所示，轻杆长为 L，一端固定在水平轴上的 O 点，另一端系一个小球（可视为质点）. 小球以 O 为圆心在竖直平面内做圆周运动，且能通过最高点，g 为重力加速度. 下列说法中正确的是 （　　）



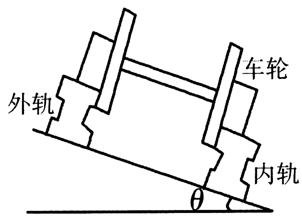
A. 小球通过最高点时速度可能小于$\sqrt{gL}$

B. 小球通过最高点时所受轻杆的作用力不可能为零

C. 小球通过最高点时所受轻杆的作用力随小球速度的增大而增大

D. 小球通过最高点时所受轻杆的作用力随小球速度的增大而减小

9. 铁路在弯道处的内、外轨道高度是不同的,已知内、外轨道平面与水平面的夹角为 θ,如图所示,弯道处的圆弧半径为 R,若质量为 m 的火车转弯时速度等于 $\sqrt{gR\tan\theta}$,则 ( )



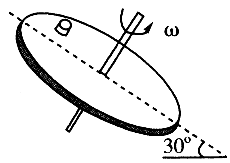
A. 内轨对内侧车轮轮缘有挤压

B. 外轨对外侧车轮轮缘有挤压

C. 这时铁轨对火车的支持力等于 $\frac{mg}{\cos\theta}$

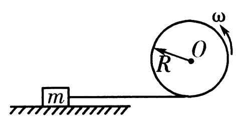
D. 这时铁轨对火车的支持力大于 $\frac{mg}{\cos\theta}$

10. 如图所示,一倾斜的匀质圆盘绕垂直于盘面的固定对称轴以恒定角速度 ω 转动,盘面上离转轴距离 2.5 m 处有一小物体与圆盘始终保持相对静止. 物体与盘面间的动摩擦因数为 $\frac{\sqrt{3}}{2}$(设最大静摩擦力等于滑动摩擦力),盘面与水平面的夹角为 30°,g 取 10 m/s^2. 则 ω 的最大值是 ( )



A. $\sqrt{5}$ rad/s　　B. $\sqrt{3}$ rad/s　　C. 1.0 rad/s　　D. 0.5 rad/s

11. 如图所示为用绞车拖物块的示意图. 拴接物块的细线被缠绕在轮轴上,轮轴逆时针转动从而拖动物块. 已知轮轴的半径 $R=0.5$ m,细线始终保持水平,被拖动物块质量 $m=1$ kg,与地面间的动摩擦因数 $\mu=0.5$,轮轴的角速度随时间变化的关系是 $\omega=kt$,$k=2$ rad/s^2,g 取 10 m/s^2,以下判断中正确的是 ( )



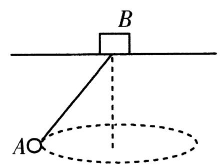
A. 物块做匀速运动

B. 细线对物块的拉力是 5 N

C. 细线对物块的拉力是 6 N

D. 物块做匀加速直线运动,加速度大小是 1 m/s^2

12. 如图所示,一根细线下端拴一个金属小球 A,细线的上端固定在金属块 B 上,B 放在带小孔的水平桌面上,小球 A 在某一水平面内做匀速圆周运动. 现使小球 A 改到一个更低一些的水平面上做匀速圆周运动(图上未画出),金属块 B 在桌面上始终保持静止,则后一种情况与原来相比较,下列判断中正确的是 ( )



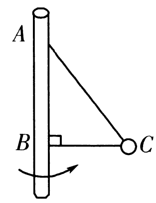
A. 金属块 B 受到桌面的静摩擦力变大

B. 金属块 B 受到桌面的支持力变小

C. 细线的张力变大

D. 小球 A 运动的角速度减小

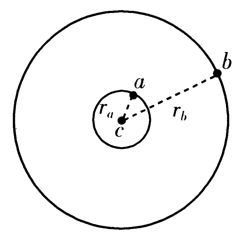
13. 如图所示,AB 为竖直转轴,细绳 AC 和 BC 的结点 C 系一质量为 m 的小球,两绳能承受的最大拉力均为 $2mg$. 当细绳 AC 和 BC 均拉直时 $\angle ABC=90^\circ$,$\angle ACB=53^\circ$,$BC=1$ m. 细绳 AC 和 BC 能绕竖直轴 AB 匀速转动,因而小球在水平面内做匀速圆周运动. 当小球的线速度增大时,两绳均会被拉断,则最先被拉断的那根绳及另一根绳被拉断时的速度分别为(重力加速度 $g=10$ m/s^2,$\sin 53^\circ=0.8$,$\cos 53^\circ=0.6$)　　(　　)



A. AC　5 m/s　　B. BC　5 m/s

C. AC　5.24 m/s　　D. BC　5.24 m/s

14. 如图所示,质点 a、b 在同一平面内绕质点 c 沿逆时针方向做匀速圆周运动,它们的周期之比 $T_a:T_b=1:k$($k>1$,为正整数). 从图示位置开始,在 b 运动一周的过程中　　(　　)



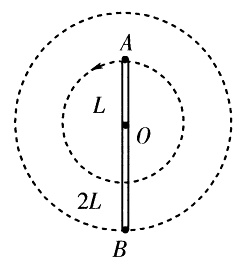
A. a、b 距离最近的次数为 k 次

B. a、b 距离最近的次数为 $(k+1)$ 次

C. a、b、c 共线的次数为 $2k$ 次

D. a、b、c 共线的次数为 $(2k-2)$ 次

15. 如图所示,轻杆长 $3L$,在杆两端分别固定质量均为 m 的球 A 和球 B,光滑水平转轴穿过杆上距球 A 为 L 处的 O 点,外界给系统一定能量后,杆和球在竖直平面内转动,球 B 运动到最高点时,杆对球 B 恰好无作用力. 忽略空气阻力. 则球 B 在最高点时　　(　　)



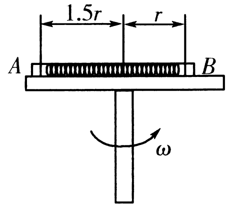
A. 球 B 的线速度为零

B. 球 A 的线速度大小为 $\sqrt{2gL}$

C. 水平转轴对杆的作用力为 $1.5mg$

D. 水平转轴对杆的作用力为 $2.5mg$

16. 如图所示，水平转台上的小物体 A、B 通过轻弹簧连接，并随转台一起匀速转动，A、B 的质量分别为 m、$2m$，离转台中心的距离分别为 $1.5r$、r，已知弹簧的原长为 $1.5r$，劲度系数为 k，A、B 与转台的动摩擦因数都为 μ，设最大静摩擦力等于滑动摩擦力，且有 $kr=2\mu mg$. 下列说法中正确的是 （　　）



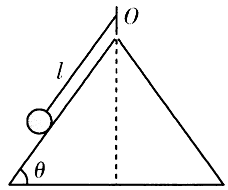
A. 当 B 受到的摩擦力为零时，转台转动的角速度为 $\sqrt{\dfrac{k}{2m}}$

B. 当 A 受到的摩擦力为零时，转台转动的角速度为 $\sqrt{\dfrac{2k}{3m}}$

C. 当 B 刚好要滑动时，转台转动的角速度为 $\sqrt{\dfrac{k}{2m}+\dfrac{\mu g}{2r}}$

D. 当 A 刚好要滑动时，转台转动的角速度为 $\sqrt{\dfrac{2k}{3m}+\dfrac{2\mu g}{3r}}$

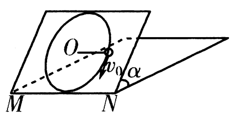
17. 如图所示，底角为 $\theta=\dfrac{\pi}{4}$ 的圆锥体静止不动，顶端通过一根长为 $l=1$ m 的细线悬挂一个质量为 $m=1$ kg 的小球，细线处于张紧状态，若小球在水平面内做匀速圆周运动，角速度 ω 的取值范围介于 3 rad/s 到 4 rad/s 之间，不计一切阻力，则细线拉力 F 可能等于 （　　）



A. $(5\sqrt{2}-5)$ N　　B. $(5\sqrt{2}+5)$ N

C. 15 N　　D. 20 N

18. 如图所示，光滑斜面与水平面成 α 角，斜面上一根长为 $L=0.30$ m 的轻杆，一端系住质量为 0.2 kg 的小球，另一端固定在 O 点，现将轻杆拉直至水平位置，然后给小球一沿着斜面并与轻杆垂直向下的初速度 $v_0=3.0$ m/s，取 $g=10$ m/s^2，则 （　　）



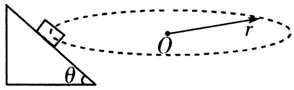
A. 此时小球的加速度大小为 $\sqrt{30}$ m/s^2

B. 小球到达最高点时杆的弹力沿斜面向上

C. 若增大 v_0，到达最高点时杆对小球的弹力一定增大

D. 若增大 v_0，到达最高点时杆对小球的弹力可能减小

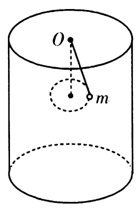
19. 汽车试车场中有一个检测汽车在极限状态下的车速的试车道,试车道呈锥面(漏斗状),侧面图如图所示. 测试的汽车质量 $m=1$ t,车道转弯半径 $r=150$ m,路面倾斜角 $\theta=45°$,路面与车胎的动摩擦因数 $\mu=0.25$,设路面与车胎的最大静摩擦力等于滑动摩擦力,(g 取 10 m/s^2)求:



(1)若汽车恰好不受路面摩擦力,则其速度应为多大?

(2)汽车在该车道上所能允许的最小车速.

20. 如图所示,在圆柱形房屋的天花板中心 O 点悬挂一根长为 L 的细绳,绳的下端挂一个质量为 m 的小球,重力加速度为 g. 已知绳能承受的最大拉力为 $2mg$,小球在水平面内做圆周运动,当速度逐渐增大到绳断裂后,小球恰好以速度 $v_2=\sqrt{7gL}$ 落到墙脚边. 求:



(1)绳断裂瞬间小球的速度 v_1;

(2)圆柱形房屋的高度 H 和半径 R.

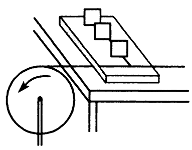
21. 一个有一定厚度的圆盘,可以绕通过中心且垂直于盘面的水平轴转动,圆盘加速转动时,角速度的增加量 $\Delta\omega$ 与对应时间 Δt 的比值定义为角加速度 β(即 $\beta=\dfrac{\Delta\omega}{\Delta t}$). 我们用电磁打点计时器、刻度尺、游标卡尺纸带(厚度不计)、复写纸来完成下述实验:(打点计时器所接交流电的频率为 50 Hz,A、B、C、D…为计数点,相邻两计数点间有四个点未画出)

实验步骤如下

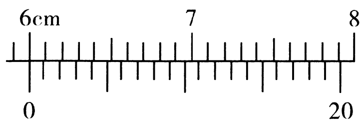
①如图甲所示,将打点计时器固定在桌面上,将纸带的一端穿过打点计时器的限位孔,然后固定在圆盘的侧面,当圆盘转动时,纸带可以卷在圆盘侧面上;

②接通电源,打点计时器开始打点,启动控制装置使圆盘匀加速转动(即角加速度恒定);

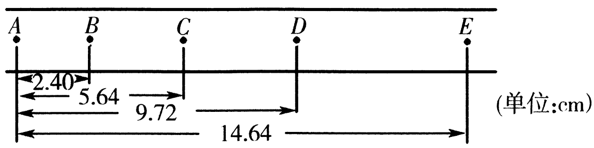
③经过一段时间,停止转动和打点,取下纸带,进行测量.



甲



乙



丙

请回答下列问题:

(1)由图乙可知,圆盘的直径为________cm.

(2)由图丙可知,打下计数点 D 时,圆盘转动的角速度大小为________rad/s;(结果保留三位有效数字)

(3)圆盘转动的角加速度大小为________rad/s^2.(结果保留三位有效数字)

第四讲 万有引力及其应用

内容导读

万有引力和航天科技紧密相连，万有引力及其应用是高考命题的热点和重点，经常在高考试题中出现，此考点同学们在复习备考中需倍加关注.

典例剖析

【例 1】在轨道上运动的质量为 m 的人造地球卫星，它到地面的距离等于地球半径 R，地面上的重力加速度为 g，忽略地球自转影响，则 (　　)

A. 卫星运动的速度大小为 $\sqrt{2gR}$

B. 卫星运动的周期为 $4\pi\sqrt{\frac{2R}{g}}$

C. 卫星运动的向心加速度大小为 $\frac{1}{2}g$

D. 卫星轨道处的重力加速度为 $\frac{1}{4}g$

●解析

［答案］ BD

［分析］

人造卫星绕地球做匀速圆周运动，根据万有引力提供向心力，设地球质量为 M、卫星的轨道半径为 r，则 $\frac{GMm}{r^2}=\frac{mv^2}{r}=mr\omega^2=ma=mr\frac{4\pi^2}{T^2}$，又 $r=2R$，忽略地球自转的影响有 $\frac{GMm}{R^2}=mg$，所以卫星运动的速度大小为 $v=\sqrt{\frac{GM}{r}}=\sqrt{\frac{gR}{2}}$，选项 A 错误；$T=2\pi\sqrt{\frac{r^3}{GM}}=4\pi\sqrt{\frac{2R}{g}}$，选项 B 正确；$a=\frac{GM}{r^2}=\frac{1}{4}g$，选项 C 错误；卫星轨道处的重力加速度为 $\frac{1}{4}g$，选项 D 正确.

［小结］

由公式 $\frac{GMm}{r^2}=\frac{mv^2}{r}=mr\omega^2=\frac{mr4\pi^2}{T^2}$ 知 $v=\sqrt{\frac{GM}{r}}=\sqrt{\frac{GM}{R+h}}$，$\omega=\sqrt{\frac{GM}{r^3}}=\sqrt{\frac{GM}{(R+h)^2}}$，$a=\frac{GM}{r^2}=\frac{GM}{(R+h)^2}$，

$T=2\pi\sqrt{\frac{r^3}{GM}}=2\pi\sqrt{\frac{(R+h)^3}{GM}}$，$h$ 越大，卫星离地面越高，周期越大，线速度、角速度和向心加速度都越小，可以概括为“高轨道，长周期，低速”.

【例2】已知地球赤道处的重力加速度为 g，物体在赤道上随地球自转的向心加速度为 a. 假设要使赤道上的物体恰好"飘"起来，则地球的转速应该变为原来的多少倍 （　　）

A. $\frac{a+g}{a}$　　B. $\frac{a}{g-a}$　　C. $\sqrt{\frac{a+g}{a}}$　　D. $\sqrt{\frac{a}{g-a}}$

● 解析

［答案］ C

［分析］

在赤道上的物体，它的向心力由地球对它的万有引力和地面对它的支持力的合力提供，则：

$\frac{GMm}{R^2}-N=mR\omega^2=ma,\omega=2\pi n,\frac{GMm}{R^2}-N=4mR\pi^2n^2=ma$

由物体的平衡条件可得：$N=mg$

进一步可得：$\frac{GMm}{R^2}=mg+4mR\pi^2n^2=mg+ma$

即：赤道上的物体受到的地球对它的万有引力，一部分用于提供重力，一部分用于提供它做圆周运动的向心力.

要使赤道上的物体恰好"飘"起来，则地面对物体的支持力刚好为零，即：

$\frac{GMm}{R^2}=4mR\pi^2n'^2=m(g+a)$

可得：$\frac{n'}{n}=\sqrt{\frac{a+g}{a}}$，选项 C 正确.

［小结］

地球自转时，赤道上的物体受到的地球对它的万有引力，一部分提供重力，一部分提供它做圆周运动的向心力.

【例3】(2018·全国理综Ⅰ卷20题)2017 年，人类第一次直接探测到来自双中子星合并的引力波. 根据科学家们复原的过程，在两颗中子星合并前约 100 s 时，它们相距约 400 km，绕二者连线上的某点每秒转动 12 圈. 将两颗中子星都看做是质量均匀分布的球体，由这些数据、万有引力常量并利用牛顿力学知识，可以估算出这一时刻两颗中子星 （　　）

A. 质量之积　　B. 质量之和

C. 速率之和　　D. 各自的自转角速度

●解析

［**答案**］ BC

［**分析**］

设两颗中子星分别为 A 和 B，两颗中子星的距离为 L，

对 A：$\frac{GM_AM_B}{L^2}=M_Ar_A\omega^2$，对 B：$\frac{GM_AM_B}{L^2}=M_Br_B\omega^2$，$L=r_A+r_B$，

$T=\frac{2\pi}{\omega}$，可得：$T=2\pi\sqrt{\frac{L^3}{G(M_A+M_B)}}$；$v_A=\frac{2\pi r_A}{T}$，$v_B=\frac{2\pi r_B}{T}$，进一步可得：$v_A+v_B=\frac{2\pi L}{T}$，$T=\frac{t}{n}$，可得：本题答案选 B 和 C.

［**小结**］

“双星模型”中两颗星的周期相同，角速度相同.

①由$\frac{GM_AM_B}{L^2}=M_Ar_A\omega^2=M_Br_B\omega^2$ 可得：其中一颗星的质量和另一颗星的轨道半径成正比.

②由$\frac{GM_AM_B}{L^2}=M_Av_A\omega=M_Bv_B\omega$ 可得：其中一颗星的质量和另一颗星的线速度的大小成正比.

【例 4】我国发射的北斗系列卫星的轨道位于赤道上方，轨道半径为 r，绕行方向与地球自转方向相同. 设地球自转角速度为 ω_0，地球半径为 R，地球表面重力加速度为 g. 设某一时刻，卫星通过赤道上某建筑物的上方，则当它再一次通过该建筑物上方时，所经历的时间为 （　　）

A. $\frac{2\pi}{\sqrt{\frac{gR^2}{r^3}}-\omega_0}$　　B. $2\pi\left(\sqrt{\frac{r^3}{gR^2}}-\frac{1}{\omega_0}\right)$

C. $2\pi\sqrt{\frac{r^3}{gR^2}}$　　D. $2\pi\sqrt{\frac{r^3}{gR^2}}+\omega_0$

● 解析

［答案］ A

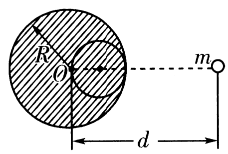
［分析］

人造卫星绕地球做匀速圆周运动，根据万有引力提供向心力，设卫星的质量为 m，轨道半径为 r，地球质量为 M，则：$\frac{GMm}{r^2}=mr\omega^2$，解得：$\omega=\sqrt{\frac{GM}{r^3}}$，卫星再次经过某建筑物的上空，卫星多转动一圈，有：$(\omega-\omega_0)t=2\pi$；地球表面的重力加速度为 $g=\frac{GM}{R^2}$，可得：$t=\frac{2\pi}{\sqrt{\frac{gR^2}{r^3}}-\omega_0}$，选项 A 正确.

［小结］

本题的关键：根据万有引力提供向心力求解出角速度；根据地球表面重力等于万有引力得到重力加速度表达式；根据多转动一圈后再次到达某建筑物上空列式.

【例 5】如图所示，在半径为 R 的铅球中挖出一个球形空穴，空穴直径为 R 且与铅球相切，并通过铅球的球心. 在未挖出空穴前铅球质量为 M. 求挖出空穴后的铅球与距铅球球心距离为 d、质量为 m 的小球（可视为质点）间的万有引力大小.



● 解析

［答案］ $\frac{GMm(7d^2-8dR+2R^2)}{2d^2(2d-R)^2}$

［分析］

未挖出空穴前铅球质量为 $M=\frac{4}{3}\rho\pi R^3$，设挖出空穴前铅球与小球间的万有引力为 F_1，挖出的球形实体质量为 $M'=\frac{4}{3}\rho\pi\left(\frac{R}{2}\right)^3=\frac{1}{8}M$，与小球间的万有引力为 F_2，铅球剩余部分与小球间的万有引力为 F，则有 $F_1=F+F_2$

根据万有引力定律可得 $F_1=\frac{GMm}{d^2}$，$F_2=\frac{GMm}{8\left(d-\frac{1}{2}R\right)^2}$，

●解析

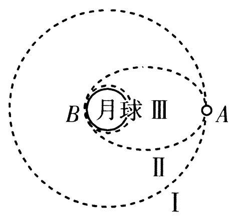
故挖出空穴后的铅球与小球间的万有引力为 $F=F_1-F_2=\frac{GMm}{d^2}-\frac{GMm}{8\left(d-\frac{1}{2}R\right)^2}$

$=\frac{GMm(7d^2-8dR+2R^2)}{2d^2(2d-R)^2}$.

[**小结**]

由于题目中没有告知距离 d 与球的半径 R 之间的关系,因此不能把挖出球形空穴后的铅球看成质点,故不能直接利用万有引力定律来计算引力的大小. 但是,可以用填补法求解,即先把挖去的部分“补”上,使其成为半径为 R 的完整球体,再根据万有引力定律,分别计算出半径为 R 的球体和补上的球体对小球的万有引力,最后两引力相减即可得到答案;运用“填补法”解题的关键是紧扣万有引力定律的适用条件,先填补,后运算. 运用“填补法”解题的过程主要体现了等效的思想.

【例6】我国正在进行的探月工程是高新技术领域的一次重大科技活动,在探月工程中飞行器成功变轨至关重要. 如图所示,假设月球半径为 R,月球表面的重力加速度为 g_0,飞行器在距月球表面高度为 $3R$ 的圆形轨道Ⅰ上运动,到达轨道的 A 点点火变轨进入椭圆轨道Ⅱ,到达轨道的近月点 B 再次点火进入近月轨道Ⅲ绕月球做圆周运动,则 ( )



A. 飞行器在 B 点处点火后,动能增加

B. 由已知条件不能求出飞行器在轨道Ⅱ上的运行周期

C. 只有万有引力作用情况下,飞行器在轨道Ⅱ上通过 B 点的加速度大于在轨道Ⅲ上通过 B 点的加速度

D. 飞行器在轨道Ⅲ上绕月球运行一周所需的时间为 $2\pi\sqrt{\frac{R}{g_0}}$

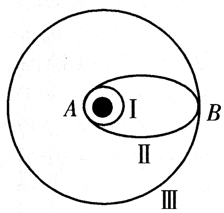
● 解析

［答案］ D

［分析］

在椭圆轨道近月点变轨成为圆轨道，要实现变轨应给飞行器点火减速，减小所需的向心力，故点火后动能减小，选项 A 错误；设飞行器在近月轨道Ⅲ绕月球运行一周所需的时间为 T_3，则：$mg_0 = mR\frac{4\pi^2}{T_3^2}$，解得：$T_3 = 2\pi\sqrt{\frac{R}{g_0}}$，根据几何关系可知，轨道Ⅱ的半长轴 $a = 2.5R$，根据开普勒第三定律 $\frac{a^3}{T^2} = k$ 以及轨道Ⅲ的周期，可求出在轨道Ⅱ上的运行周期，选项 B 错误，选项 D 正确；只有万有引力作用情况下，飞行器在轨道Ⅱ上通过 B 点的加速度与在轨道Ⅲ上通过 B 点的加速度相等，选项 C 错误.

［小结］



1. 人造卫星的发射过程要经过多次变轨可到达预定轨道，如图所示.

   (1) 为了节省能量，在赤道上顺着地球自转方向发射卫星到圆轨道Ⅰ上.

   (2) 在 A 点点火加速，由于速度变大，万有引力不足以提供向心力，卫星做离心运动进入椭圆轨道Ⅱ.

   (3) 在 B 点（远地点）再次点火加速进入圆形轨道Ⅲ.

2. 三个运行物理量的大小比较：

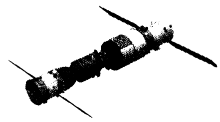
   (1) 速度：设卫星在圆轨道Ⅰ和Ⅲ上运行时的速率分别为 v_1、v_3，在轨道Ⅱ上过 A 点和 B 点速率分别为 v_A、v_B. 在 A 点加速，则 $v_A > v_1$，在 B 点加速，则 $v_3 > v_B$，又因 $v_1 > v_3$，故有 $v_A > v_1 > v_3 > v_B$.

   (2) 加速度：因为在 A 点，卫星只受到万有引力作用，故不论从轨道Ⅰ还是轨道Ⅱ上经过 A 点，卫星的加速度都相同，同理，经过 B 点加速度也相同.

   (3) 周期：设卫星在Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ轨道上运行周期分别为 T_1、T_2、T_3，轨道半径分别为 r_1、r_2（半长轴）、r_3，由开普勒第三定律 $\frac{r^3}{T^2} = k$ 可知 $T_1 < T_2 < T_3$.

章节练习

1. 2016 年 10 月 19 日凌晨，神舟十一号载人飞船与天宫二号对接成功. 两者对接后一起绕地球运行的轨道可视为圆轨道，运行周期为 T，已知地球半径为 R，对接体距地面的高度为 kR，地球表面的重力加速度为 g，万有引力常量为 G. 下列说法中正确的是 (　　)



A. 对接前，飞船通过自身减速使轨道半径变大靠近天宫二号实现对接

B. 对接后，飞船的线速度大小为$\dfrac{2\pi kR}{T}$

C. 对接后，飞船的加速度大小为$\dfrac{g}{(1+k)^2}$

D. 地球的密度为$\dfrac{3\pi(1+k)^2}{GT^2}$

2. "雪龙号"南极考察船在由我国驶向南极的过程中，经过赤道时测得某物体的重力是 G_1，在南极附近测得该物体的重力为 G_2，已知地球自转的周期为 T，引力常数为 G，假设地球可视为质量分布均匀的球体，由此可知 (　　)

A. 地球的密度为$\dfrac{3\pi G_1}{GT^2(G_2-G_1)}$

B. 地球的密度为$\dfrac{3\pi G_2}{GT^2(G_2+G_1)}$

C. 当地球的自转周期为$\sqrt{\dfrac{G_2-G_1}{G_2}}T$时，放在地球赤道地面上的物体不再对地面有压力

D. 当地球的自转周期为$\sqrt{\dfrac{G_2-G_1}{G_1}}T$时，放在地球赤道地面上的物体不再对地面有压力

3. 我国研制的"长征六号"运载火箭于 2015 年 9 月 20 日发射，成功将 20 颗微小人造卫星送入预定轨道，缔造了我国"一箭多星"的发射记录；已知地球半径为 R，地球表面的重力加速度为 g，假设某颗质量为 m 的卫星运行在轨道半径为地球半径 n 倍的圆形轨道上，则 (　　)

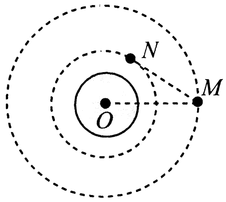
A. 该卫星运行时的向心力大小为$\frac{mg}{n}$

B. 该卫星运行时的向心加速度大小是地球表面重力加速度大小的$\frac{1}{n}$

C. 该卫星的运行速度大小为$\sqrt{gnR}$

D. 该卫星的运行速度大小是第一宇宙速度大小的$\frac{1}{\sqrt{n}}$

4. 如图，人造卫星 M、N 在同一平面内绕地心 O 做匀速圆周运动. 已知 M、N 连线与 M、O 连线间的夹角最大为 θ，则 M、N 的运动周期之比等于（　　）



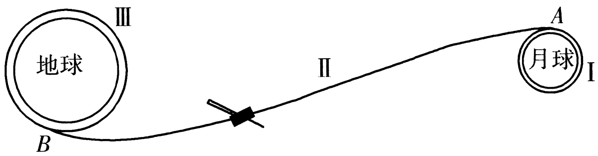
A. $\sin^3\theta$

B. $\frac{1}{\sin^3\theta}$

C. $\sqrt{\sin^3\theta}$

D. $\sqrt{\frac{1}{\sin^3\theta}}$

5. 我国于2017年11月发射"嫦娥五号"探月卫星，执行月面取样返回任务. "嫦娥五号"从月球返回地球的过程可以简单分成四步，如图所示，第一步将"嫦娥五号"发射至月球表面附近的环月圆轨道Ⅰ，第二步在环月轨道的 A 处进行变轨进入月地转移轨道Ⅱ，第三步当接近地球表面附近时，又一次变轨，从 B 点进入绕地圆轨道Ⅲ，第四步再次变轨道后降落至地面，下列说法中正确的是（　　）



A. 将"嫦娥五号"发射至轨道Ⅰ时所需的发射速度至少为7.9 km/s

B. "嫦娥五号"从环月轨道Ⅰ进入月地转移轨道Ⅱ需要加速

C. "嫦娥五号"从 A 沿月地转移轨Ⅱ到达 B 点的过程中其动能一直增加

D. "嫦娥五号"在第四步变轨时需要加速

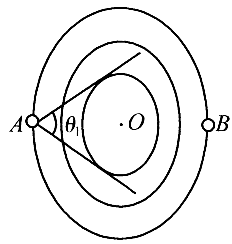
6. 2017年8月28日，中科院南极天文中心的巡天望远镜观测到一个由双中子星构成的孤立双星系统产生的引力波. 该双星系统以引力波的形式向外辐射能量，使得圆周运动的周期 T 极其缓慢地减小，双星的质量 m_1 与 m_2 均不变，则下列关于该双星系统变化的说法中正确的是 (　　)



A. 双星间的间距逐渐增大　　B. 双星间的万有引力逐渐增大

C. 双星的线速度逐渐增大　　D. 双星系统的引力势能逐渐增大

7. 2018年2月12日，我国在西昌卫星发射中心以“一箭双星”方式成功发射第二十八、二十九颗北斗导航卫星，预计2020年以前建成全球北斗导航系统（由五颗地球同步卫星、三颗倾斜轨道同步卫星和二十七颗中圆轨道卫星组成），如图所示为北斗导航系统某一倾斜轨道同步卫星 A（轨道平面与赤道平面有夹角，周期等于地球自转周期）、该平面内的一个中圆轨道卫星 B 和地球的位置关系示意图，O 为地心. 地球相对卫星 A、B 的张角分别约为 $\theta_1=17.4°$ 和 $\theta_2=26.4°$（θ_2 图中未标出），卫星 A 的轨道半径约为卫星 B 的轨道半径的 1.51 倍，地球的自转周期为 T_0，已知卫星 A、B 运行方向相同. 在运行过程中由于地球的遮挡，卫星 B 会进入卫星 A 通讯的盲区，卫星 A 和卫星 B 不能直接通讯（信号传输时间可忽略）. 卫星间的通讯信号可视为沿直线传播，下列说法中正确的 (　　)



A. A、B 两卫星的线速度之比为 1.23 : 1

B. 卫星 B 的周期约 $0.54T_0$

C. 中圆卫星 B 每次在盲区运行的时间约为 $0.14T_0$

D. 倾斜地球同步轨道卫星相对地面上固定的观察者是静止的

8. 宇宙中有这样一种三星系统，系统由两个质量为 m 的小星体和一个质量为 M 的大星体组成，两个小星体围绕大星体在同一圆形轨道上运行，轨道半径为 r. 关于该三星系统的说法中正确的是 (　　)

A. 在稳定运行的情况下，大星体提供两小星体做圆周运动的向心力

B. 在稳定运行的情况下，大星体应在小星体轨道中心，两小星体在大星体相对的两侧

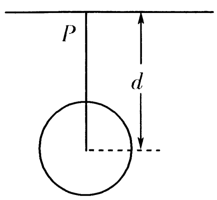
C. 小星体运行的周期为 $T=\dfrac{4\pi r^{\frac{3}{2}}}{\sqrt{G(4M+m)}}$

D. 大星体运行的周期为 $T=\dfrac{4\pi r^{\frac{3}{2}}}{\sqrt{G(4M+m)}}$

9. 假设地球是一半径为 R、质量分布均匀的球体. 一矿井深度为 d. 已知质量分布均匀的球壳对壳内物体的引力为零. 矿井底部和地面处的重力加速度大小之比为 ( )

A. $1-\frac{d}{R}$　　B. $1+\frac{d}{R}$　　C. $\left(\frac{R-d}{R}\right)^2$　　D. $\left(\frac{R}{R-d}\right)^2$

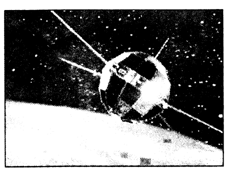
10. 地质勘探发现某地区表面的重力加速度发生了较大的变化,怀疑地下有空腔区域. 进一步探测发现在地面 P 点的正下方有一球形空腔区域储藏有天然气,如图所示. 假设该地区岩石均匀分布且密度为 ρ,天然气的密度远小于 ρ,可忽略不计. 如果没有该空腔,地球表面正常的重力加速度大小为 g;由于空腔的存在,现测得 P 点处的重力加速度大小为 $kg(k<1)$. 已知引力常量为 G,球形空腔的球心深度为 d,则此球形空腔的体积是 ( )



A. $\frac{kgd}{G\rho}$　　B. $\frac{kgd^2}{G\rho}$

C. $\frac{(1-k)gd}{G\rho}$　　D. $\frac{(1-k)gd^2}{G\rho}$

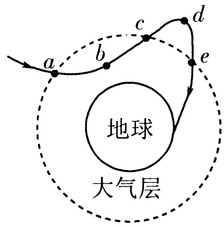
11. 国务院批复,自2016年起将4月24日设立为"中国航天日". 1970年4月24日我国首次成功发射的人造卫星东方红一号,目前仍然在椭圆轨道上运行,其轨道近地点高度约为440 km,远地点高度约为2 060 km;1984年4月8日成功发射的东方红二号卫星运行在赤道上空35 786 km的地球同步轨道上. 设东方红一号在远地点的加速度为 a_1,东方红二号的加速度为 a_2,固定在地球赤道上的物体随地球自转的加速度为 a_3,则 a_1、a_2、a_3 的大小关系为 ( )



A. $a_2>a_1>a_3$　　B. $a_3>a_2>a_1$

C. $a_3>a_1>a_2$　　D. $a_1>a_2>a_3$

12. 我国探月工程三期返回飞行试验器创造了我国航天工程的多个第一,其中包括跳跃式返回技术.跳跃式返回技术指航天器在关闭发动机后进入大气层,依靠大气升力再次冲出大气层,降低速度后再进入大气层.如图所示,虚线为大气层的边界,已知地球半径为R,地心到d点距离为r,地球表面重力加速为g.下列说法中正确的是 ( )



A. 飞行试验器在b点处于完全失重状态

B. 飞行试验器在d点的加速度等于$\frac{gR^2}{r^2}$

C. 飞行试验器在a点的速率等于在c点的速率

D. 飞行试验器在c点的速率大于在e点的速率

必修2　第五章　机械能

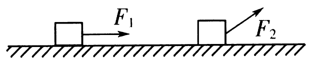
第一讲　功和功率

内容导读

功是能量转化的量度,做功的过程是能量的转化的过程,功率描述做功的快慢,要理解功和功率的定义,灵活应用功和功率的公式.

典例剖析

【例1】位于水平面上的物体在水平恒力 F_1 作用下,做速度为 v_1 的匀速运动.若作用力变为斜向上的恒力 F_2,物体做速度为 v_2 的匀速运动,且 F_1 与 F_2 功率相同.则可能有　(　　)



A. $F_2=F_1,v_1>v_2$　　B. $F_2=F_1,v_1<v_2$

C. $F_2>F_1,v_1>v_2$　　D. $F_2<F_1,v_1<v_2$

●解析

[答案]　BD

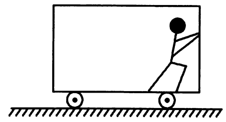
[分析]

物体在水平恒力 F_1 作用下匀速运动,水平方向有 $F_1=\mu mg$.作用力变为斜向上的恒力 F_2 时,设 F_2 与水平方向的夹角为 θ,物体匀速运动时在水平方向有 $F_2\cos\theta=\mu(mg-F_2\sin\theta)$,故 $F_2=\dfrac{\mu mg}{\cos\theta+\mu\sin\theta}=\dfrac{\mu mg}{\sqrt{1+\mu^2}\sin(\alpha+\theta)}$(其中 $\sin\alpha=\dfrac{1}{\sqrt{1+\mu^2}}$),因而两力大小关系不确定;两种情况下物体均做匀速运动,且拉力功率相同,由于 $P_1=F_1v_1=\mu mgv_1$,$P_2=F_2v_2\cos\theta=\dfrac{\mu mgv_2\cos\theta}{\cos\theta+\mu\sin\theta}=\dfrac{\mu mgv_2}{1+\mu\tan\theta}$,$P_2=P_1$ 即 $\mu mgv_1=\dfrac{\mu mgv_2}{1+\mu\tan\theta}$,$1+\mu\tan\theta>1$,因而必有 $v_1<v_2$,故选项 B、D 正确.

[小结]

根据功和功率的定义写出相应表达式,然后进行分析讨论,把问题解决.

【例2】如图所示，在向右做匀减速运动的车厢内，一人用力向前推车厢，该人与车厢始终保持相对静止，则下列说法中正确的是 ( )



A. 人对车厢的推力不做功

B. 人对车厢的推力做负功

C. 车厢对人的作用力做正功

D. 车厢对人的作用力做负功

●解析

［答案］ D

［分析］

车厢向右做匀减速运动，即 a、v 方向相反，加速度 a 向左，且人与车厢具有相同的加速度. 对人受力分析，受到重力和车厢对人的作用力，则车厢对人的作用力方向为斜向左上方，与位移方向成钝角，所以车厢对人做负功，选项 C 错误，选项 D 正确. 人对车厢的作用力方向斜向右下方，人对车厢的作用力与车厢位移方向成锐角，人对车厢做正功，选项 A、B 错误.

［小结］

要特别注意研究对象，例如车厢对人的作用力是车厢对人的支持力、车厢对人的静摩擦力和车壁对人的弹力的合力.

【例3】一列火车总质量 $m=500$ t，机车发动机的额定功率 $P=6\times10^5$ W，在水平轨道上行驶时，轨道对列车的阻力 f 是车重的 0.01 倍，g 取 10 m/s^2，求：

(1)火车在水平轨道上行驶的最大速度 v_m；

(2)在水平轨道上，发动机以额定功率 P 工作，当行驶速度为 $v_1=1$ m/s 时，火车的瞬时加速度 a_1；

(3)在水平轨道上以 36 km/h 的速度匀速行驶时，发动机的实际功率 P'；

(4)若火车从静止开始，保持 $a=0.5$ m/s^2 的加速度做匀加速运动，这一过程维持的最长时间 t.

●解析

[答案] (1)12 m/s (2)1.1 m/s² (3)5×10^5 W (4)4 s

[分析]

(1)当牵引力等于阻力,即 $F=f=kmg$ 时火车的加速度为零,速度达到最大,则

$v_m=\frac{P}{F}=\frac{P}{kmg}=12$ m/s;

(2)当 $v_1=1$ m/s $<v_m$ 时,火车加速运动,牵引力 $F_1=\frac{P}{v_1}=6\times10^5$ N

由牛顿第二定律知 $a_1=\frac{F_1-f}{m}=1.1$ m/s²;

(3)当 $v=36$ km/h $=10$ m/s 时,火车匀速运动,则发动机的实际功率为

$P=Fv=fv=5\times10^5$ W;

(4)据牛顿第二定律得牵引力 $F'=f+ma=3\times10^5$ N

在此过程中,速度增大,发动机功率增大. 当功率为额定功率时速度大小为

$v'=\frac{P}{F'}=2$ m/s

又因 $v'=at$,所以 $t=\frac{v'}{a}=4$ s.

[小结]

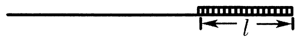
机车启动模型中的3个重要关系:

1. 无论哪种启动过程,机车的最大速度都等于其匀速运动时的速度,即 $v_m=\frac{P}{F_{min}}=\frac{P}{F_{阻}}$(式中 F_{min} 为最小牵引力,其值等于阻力 $F_{阻}$).

2. 机车以恒定加速度启动的运动过程中,匀加速过程结束时,功率最大,速度不是最大,即 $v=\frac{P}{F}<v_m=\frac{P}{F_{阻}}$.

3. 机车以恒定功率运行时,牵引力做的功 $W=Pt$. 由动能定理(后面内容)有 $Pt-F_{阻}x=\Delta E_k$. 此式经常用于求解机车以恒定功率启动过程的位移大小.

【例4】如图所示，n个完全相同、边长足够小且互不粘连的小方块依次排列，总长度为l，总质量为M，它们一起以速度v在光滑水平面上滑动，某时刻开始滑上粗糙水平面. 小方块与粗糙水平面之间的动摩擦因数为μ，若小方块恰能完全进入粗糙水平面，则摩擦力对所有小方块所做功的大小为 ( )



A. $\frac{1}{2}Mv^2$　　B. Mv^2　　C. $\frac{1}{2}\mu Mgl$　　D. μMgl

●解析

［答案］ AC

［分析］

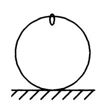
总质量为M的小方块在进入粗糙水平面的过程中滑动摩擦力由零均匀增大，当全部进入时摩擦力达最大值μMg，总位移为l，平均摩擦力为$\overline{F}_f=\frac{1}{2}\mu Mg$，由功的公式可得$W_f=\overline{F}_f l=\frac{1}{2}\mu Mgl$，功的大小为$\frac{1}{2}\mu Mgl$，选项C正确，选项D错误；用动能定理计算，则有：$W_f=0-\frac{1}{2}Mv^2=-\frac{1}{2}Mv^2$，其大小为$\frac{1}{2}Mv^2$，选项A正确，选项B错误.

［小结］

若物体受到的力方向不变，而大小随位移均匀变化时，则可以认为物体受到一大小为$\overline{F}=\frac{F_1+F_2}{2}$的恒力作用，$F_1$、$F_2$分别为物体在初、末位置所受到的力，然后用公式$W=\overline{F}l\cos\alpha$求此变力所做的功.

章节练习

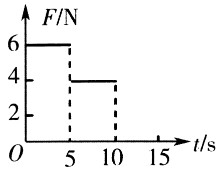
1. (2017·高考全国卷Ⅱ)如图，一光滑大圆环固定在桌面上，环面位于竖直平面内，在大圆环上套着一个小环. 小环由大圆环的最高点从静止开始下滑，在小环下滑的过程中，大圆环对它的作用力 ( )



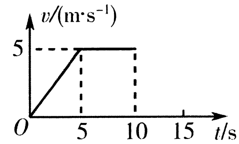
A. 一直不做功　　B. 一直做正功

C. 始终指向大圆环圆心　　D. 始终背离大圆环圆心

2. 一物块放在水平地面上，受到水平推力 F 的作用，力 F 与时间 t 的关系如图甲所示，物块的运动速度 v 与时间 t 的关系如图乙所示，10 s 后的 $v-t$ 图象没有画出，重力加速度 g 取 10 m/s^2，下列说法中正确的是（　　）



甲



乙

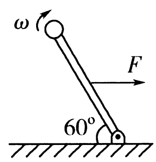
A. 物块滑动时受到的摩擦力大小是 6 N

B. 物块的质量为 1 kg

C. 物块在 0 ~ 10 s 内克服摩擦力做功为 50 J

D. 物块在 10 ~ 15 s 内的位移为 6.25 m

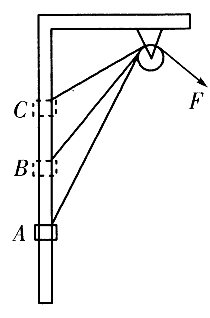
3. 如图所示，一长为 L 的轻杆一端固定在光滑铰链上，另一端固定一质量为 m 的小球. 一水平向右的拉力作用于杆的中点，使杆以角速度 ω 匀速转动，当杆与水平方向成 60°时，拉力的功率为（　　）



A. $mgL\omega$　　B. $\frac{\sqrt{3}}{2}mgL\omega$

C. $\frac{1}{2}mgL\omega$　　D. $\frac{\sqrt{3}}{6}mgL\omega$

4. 如图所示，固定的光滑竖直杆上套着一个滑块，用轻绳系着滑块绕过光滑的定滑轮，以大小恒定的拉力 F 拉绳，使滑块从 A 点起由静止开始上升. 若从 A 点上升至 B 点和从 B 点上升至 C 点的过程中拉力 F 做的功分别为 W_1 和 W_2，滑块经 B、C 两点，图中 $AB=BC$，则（　　）



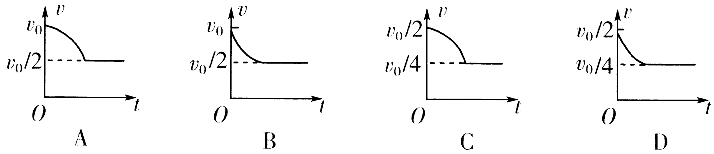
A. $W_1>W_2$

B. $W_1<W_2$

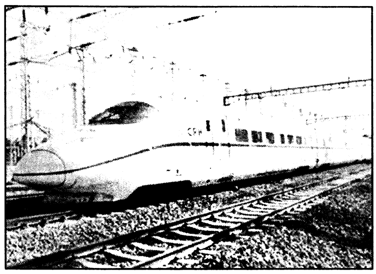
C. $W_1=W_2$

D. 无法确定 W_1 和 W_2 的大小关系

5. 汽车在平直公路上以速度 v_0 匀速行驶，发动机功率为 P，快进入闹市区时，司机减小了油门，使汽车的功率立即减小一半并保持该功率继续行驶. 设汽车行驶时所受的阻力恒定，则下面四个图象中，哪个图象正确表示了司机从减小油门开始，汽车的速度与时间的关系（　　）



6. 我国高铁技术处于世界领先水平. 和谐号动车组是由动车和拖车编组而成,提供动力的车厢叫动车,不提供动力的车厢叫拖车. 假设动车组各车厢质量均相等,动车的额定功率都相同,动车组在水平直轨道上运行过程中阻力与车重成正比. 某列车组由 8 节车厢组成,其中第 1、5 节车厢为动车,其余为拖车,则该动车组 (　　)



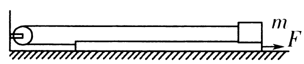
A. 启动时乘客受到车厢作用力的方向与车运动的方向相反

B. 做匀加速运动时,第 5、6 节与第 6、7 节车厢间的作用力之比为 3∶2

C. 进站时从关闭发动机到停下来滑行的距离与关闭发动机时的速度成正比

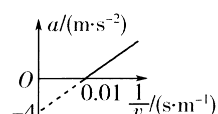
D. 与改为 4 节动车带 4 节拖车的动车组最大速度之比为 1∶2

7. 如图所示,质量为 M、长度为 L 的木板放在光滑的水平地面上,在木板的右端放置质量为 m 的小木块,用一根不可伸长的轻绳通过光滑的定滑轮分别与木块、木板连接,木块与木板间的动摩擦因数为 μ,开始时木块和木板静止,现用水平向右的拉力 F 作用在木板上,将木块拉向木板左端的过程中,拉力至少做功为 (　　)



A. $2\mu mgL$　　B. $\frac{1}{2}\mu mgL$　　C. $\mu(M+m)gL$　　D. μmgL

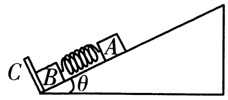
8. 质量为 400 kg 的赛车在平直赛道上以恒定功率加速,受到的阻力不变,其加速度 a 和速度的倒数 $\frac{1}{v}$ 的关系如图所示,则赛车 (　　)



A. 速度随时间均匀增大　　B. 加速度随时间均匀增大

C. 输出功率为 160 kW　　D. 所受阻力大小为 1 600 N

9. 在倾角为 θ 的光滑斜面上有两个用轻质弹簧相连接的物块 A、B，它们的质量分别为 m_1、m_2，弹簧劲度系数为 k，C 为一固定挡板，系统处于静止状态. 现开始用一恒力 F 沿斜面方向拉物块 A 使之向上运动，当物块 B 刚要离开 C 时，物块 A 运动的距离为 d，速度为 v，重力加速度大小为 g，则此时 ( )



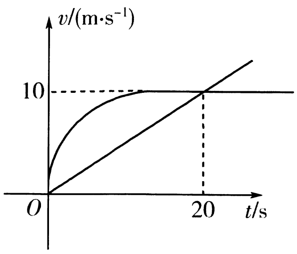
A. $kd = m_2g\sin\theta$

B. 物块 A 加速度大小为$\dfrac{F-kd}{m_1}$

C. 重力对物块 A 做功的功率为$(kd-m_2g\sin\theta)v$

D. 弹簧的弹力对物块 A 做功的功率为$(kd-m_2g\sin\theta)v$

10. 甲、乙两车同时同地同向运动，两车的 $v-t$ 图象如图所示. 其中质量 $m=7.5$ t 甲车以恒定功率 $P=50$ kW 启动，最后匀速运动. 乙车做初速度为零的匀加速运动，则乙车追上甲车的时间是 ( )

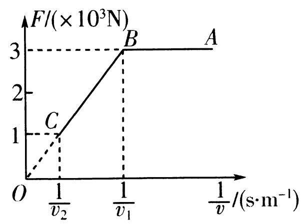


A. 40 s　　B. 20 s

C. 60 s　　D. 30 s

11. 跳绳运动员质量 $m=50$ kg,1 min 跳 $N=180$ 次. 假设每次跳跃中,脚与地面的接触时间占跳跃一次所需时间的$\frac{2}{5}$,g 取 10 m/s^2,试估算该运动员跳绳时克服重力做功的平均功率为多大?

12. 一辆汽车质量为 1×10^3kg,最大功率为 2×10^4 W,在水平路面上由静止开始做直线运动,最大速度为 v_2,运动中汽车所受阻力恒定. 发动机的最大牵引力为 3×10^3 N,其行驶过程中牵引力 F 与车速的倒数$\frac{1}{v}$的关系如图所示. 试求:



(1)根据图线 ABC 判断汽车做什么运动?

(2)v_2 的大小.

(3)整个运动过程中的最大加速度.

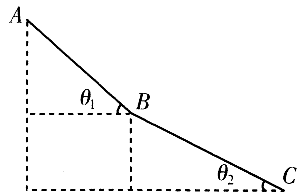
第二讲 动能定理

内容导读

合力对物体做的功等于物体的动能的变化，即合力做的功用来度量动能的变化. 动能定理应用广泛，是高考命题的重点和热点，复习备考中应该倍加关注.

典例剖析

【例 1】如图所示为某游乐园滑草场的示意图，某滑道由上、下两段倾角不同的斜面组成，斜面倾角 $\theta_1>\theta_2$，滑车与坡面草地之间的动摩擦因数处处相同. 载人滑车从坡顶 A 处由静止开始自由下滑，经过上、下两段滑道后，最后恰好滑到滑道的底端 C 点停下. 若在 A、C 点位置不变的情况下，将两段滑道的交接点 B 向左平移一小段距离，使第一段 AB 的倾角稍稍变大，第二段 BC 的倾角稍稍变小. 不计滑车在两段滑道交接处的机械能损失，则平移后 (　　)



A. 滑车到达滑道底端 C 点之前就会停下来

B. 滑车仍恰好到达滑道的底端 C 点停下

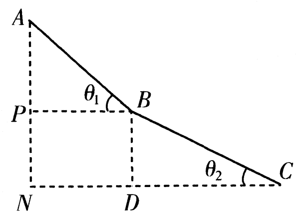
C. 滑车到达滑道底端 C 点后仍具有一定的速度，所以应在 C 点右侧加安全防护装置

D. 若适当增大滑车与草地之间的动摩擦因数，可使滑车仍恰好到达滑道的底端 C 点停下

●解析

［答案］ B

［分析］



设 $AP=h_1$，$PN=h_2$，$AN=h$，$PB=x_1$，$DC=x_2$，$NC=x$

第一种情况：

滑车从 A 到 B 由动能定理可得：

$$mgh_1-\mu mgAB\cos\theta_1=\frac{1}{2}mv_B^2-0$$

$$x_1=AB\cos\theta_1$$

可得：$mgh_1-\mu mgx_1=\frac{1}{2}mv_B^2-0$

滑车从 B 到 C 由动能定理可得：

$$mgh_2-\mu mgBC\cos\theta_2=0-\frac{1}{2}mv_B^2$$

$$x_2=BC\cos\theta_2$$

可得：$mgh_2-\mu mgx_2=0-\frac{1}{2}mv_B^2$

进一步可得：$mgh-\mu mgx=0$

第二种情况：滑车滑动到 C 点的速度为 v_C，同理全过程对滑车由动能定理可得：

$mgh-\mu mgx=\frac{1}{2}mv_C^2-0$，解得：$v_C=0$，选项 B 正确.

［小结］

应用动能定理的注意事项：

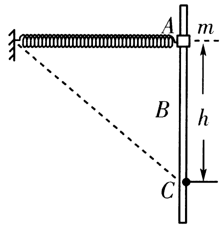
(1)动能定理中的位移和速度必须是相对于同一个参考系的，一般以地面或相对地面静止的物体为参考系.

(2)应用动能定理的关键在于对研究对象进行准确的受力分析及运动过程分析，并画出运动过程的草图，借助草图理解物理过程之间的关系.

(3)当物体的运动包含多个不同过程时，可分段应用动能定理求解；当所求解的问题不涉及中间的速度时，也可以全过程应用动能定理求解，这样更简便.

(4)列动能定理方程时，必须明确各力做功的正、负，确实难以判断的先假定为正功，最后根据结果加以检验.

【例2】如图所示,轻质弹簧一端固定,另一端与一质量为 m、套在粗糙竖直固定杆 A 处的圆环相连弹簧水平且处于原长. 圆环从 A 处由静止开始下滑,经过 B 处的速度最大,到达 C 处的速度为零,$AC=h$. 若圆环在 C 处获得竖直向上的速度 v,恰好能回到 A 处. 弹簧始终在弹性限度内,重力加速度为 g. 则圆环 (　　)



A. 下滑过程中,加速度一直减小

B. 上滑过程中,经过 B 处的速度最大

C. 下滑过程中,克服摩擦力做的功为$\frac{1}{4}mv^2$

D. 上滑经过 B 的速度大于下滑经过 B 的速度

●解析

[**答案**]　CD

[**分析**]

圆环下滑过程中,从 A 到 B 圆环做加速运动,加速度方向下,从 B 到 C 圆环做减速运动,加速度方向上,经过 B 处的速度最大,圆环在 B 处的加速度为零,选项 A 错误;对圆环受力分析可得:无论圆环在上滑过程,还是下滑过程,经过同一位置时,圆环受到的杆对它的弹力大小相等,圆环受到的杆对它的摩擦力大小相等,圆环从 A 到 C 克服摩擦力做功和圆环从 C 到 A 克服摩擦力做功的大小相等,都设为 W,对圆环由动能定理可得:$mgh-W-W_{弹}=0$,$W_{弹}-mgh-W=0-\frac{1}{2}mv^2$,可解得:$W=\frac{1}{4}mv^2$,选项 C 正确;下滑经过 B 的速度大小为 v_1,上滑经过 B 的速度大小为 v_2,对圆环由动能定理可得:$mgh_{AB}-W_{弹AB}-W_{fAB}=\frac{1}{2}mv_1^2-0$,$-mgh_{BA}+W_{弹BA}-W_{fBA}=0-\frac{1}{2}mv_2^2$,$-2W_{fBA}=\frac{1}{2}mv_1^2-\frac{1}{2}mv_2^2<0$,$v_1<v_2$ 选项 D 正确;圆环在 B 处时,弹簧对圆环的弹力在竖直方向的分力大小为 F_{By},杆对圆环的摩擦力的大小为 f_B,圆环下滑过程中经过 B 处的速度最大,圆环在 B 处的加速度为零,则:$mg=F_{By}+f_B$;圆环上滑过程中经过 B 处 $F_{By}<mg+f_B$,上滑过程中,经过 B 处的的加速度不为零,速度不为最大,选项 B 错误.

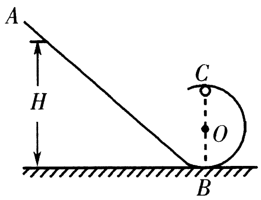
●解析

［小结］

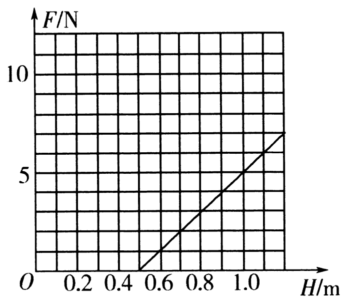
本题要特别注意：

①圆环下滑过程中经过 B 处的速度最大，圆环在 B 处的加速度为零. ②无论圆环在上滑过程，还是下滑过程，经过同一位置时，圆环受到的杆对它的弹力大小相等，圆环受到的杆对它的摩擦力大小相等，圆环从 A 到 C 克服摩擦力做功和圆环从 C 到 A 克服摩擦力做功的大小相等. ③上滑经过 B 的速度和下滑经过 B 的速度的大小关系要特别注意区分圆环是从 A 到 B 的运动过程还是圆环从 B 到 A 的运动过程.

【例 3】宇航员在某星球表面做了如下实验，实验装置如图甲所示，竖直平面内的光滑轨道由斜轨道 AB 和圆弧轨道 BC 组成. 将质量 $m=0.2$ kg 的小球，从轨道 AB 上高 H 处的某点由静止释放，用力传感器测出小球经过 C 点时对轨道的压力大小为 F，改变 H 的大小，可测出 F 随高度 H 的变化关系如图乙所示.



甲



乙

(1)求圆弧轨道的半径；

(2)求星球表面的重力加速度；

(3)作出小球经过 C 点时动能随 H 的变化关系图象.

●解析

［答案］ (1)0.2 m (2)5 m/s^2 (3)见解析图

［分析］

(1)小球过 C 点时，由牛顿第二定律得：$F+mg=\dfrac{mv_C^2}{r}$

小球由静止下滑至 C 点的过程，由动能定理得：$mg(H-2r)=\dfrac{1}{2}mv_C^2-0$

解得：$F=\dfrac{2mg}{r}\times H-5mg$

解析

由图可知：当 $H_1=0.5$ m 时，$F_1=0$ N

解得：$r=0.2$ m.

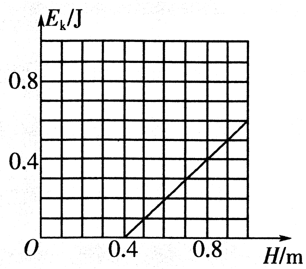
(2) 当 $H_2=1.0$ m 时，$F_2=5$ N

解得：$g=5\ m/s^2$.

(3) 小球由静止下滑至 C 点的过程，由动能定理得：$mg(H-2r)=E_k-0$

解得：$E_k=H-0.4$(J)

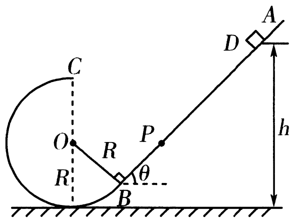
则 E_k-H 图象如图所示.



[小结]

①"C 点的压力"要利用重力和轨道对 C 的压力提供向心力的条件；②"F 随 H 的关系"要根据条件写出 $F-H$ 的函数关系.

【例4】如图所示，倾角 $\theta=45°$ 的粗糙平直导轨 AB 与半径为 R 的光滑圆环轨道相切，切点为 B，整个轨道处在竖直平面内. 一质量为 m 的小滑块(可以看作质点)从导轨上离地面高为 $h=3R$ 的 D 处无初速度下滑进入圆环轨道. 接着小滑块从圆环最高点 C 水平飞出，恰好击中导轨上与圆心 O 等高的 P 点，不计空气阻力，已知重力加速度为 g. 求：



(1) 滑块运动到圆环最高点 C 时的速度大小；

(2) 滑块运动到圆环最低点时对圆环轨道压力的大小；

(3) 滑块在斜面轨道 BD 间运动的过程中克服摩擦力做的功.

● 解析

[答案] (1)$\sqrt{gR}$ (2)$6mg$ (3)$\frac{1}{2}mgR$

[分析]

(1)小滑块从 C 点飞出来做平抛运动,水平速度为 v_0.

竖直方向上:$R=\frac{1}{2}gt^2$ ①

水平方向上:$\sqrt{2}R=v_0t$ ②

解得 $v_0=\sqrt{gR}$. ③

(2)小滑块在最低点时速度为 v,由动能定理得:

$-2mgR=\frac{1}{2}mv_0^2-\frac{1}{2}mv^2$ ④

解得 $v=\sqrt{5gR}$. ⑤

在最低点由牛顿第二定律得:

$F_N-mg=\frac{mv^2}{R}$ ⑥

解得 $F_N=6mg$.

由牛顿第三定律得 $F'_N=6mg$. ⑦

(3)从 D 到最低点过程中,设 DB 过程中克服摩擦阻力做功 W_f,由动能定理得:

$mgh-W_f=\frac{1}{2}mv^2-0$ ⑧

解得 $W_f=\frac{1}{2}mgR$. ⑨

【拓展延伸一】在【例4】中,若小滑块刚好能过 C 点,求滑块与轨道 AB 间的动摩擦因数.

[解析] 小滑块刚好能过 C 点,则在 C 点由牛顿第二定律得:$mg=\frac{mv_C^2}{R}$,解得 $v_C=\sqrt{gR}$. 小滑块由 D 至 C 过程,由动能定理得:

$$mg(h-2R)-\mu mg\cos\theta\times\frac{h-(R-R\cos\theta)}{\sin\theta}=\frac{1}{2}mv_C^2-0$$

解得 $\mu=\frac{4-\sqrt{2}}{14}\approx0.18$.

解析

[答案] 0.18

【拓展延伸二】在【例4】中,滑块从轨道的 P 点由静止释放,滑块与粗糙导轨间的动摩擦因数为 μ,求滑块整个运动过程中在 AB 轨道上通过的总路程.

[解析] 滑块在 P 点释放,滑块将在两轨道间做往返运动,当滑块到达 B 点时的速度为零后滑块将只在圆弧轨道上运动,故全过程由动能定理得:

$mgx_{PB}\sin\theta-\mu mgx\cos\theta=0-0$

由几何关系得 $x_{PB}=R$

解得 $x=\dfrac{R}{\mu}$.

[答案] $\dfrac{R}{\mu}$

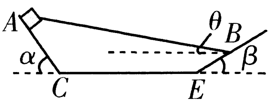
[小结]

应用动能定理求解多过程问题:

1. 首先需要建立运动模型,选择合适的研究过程能使问题得以简化. 当物体的运动过程包含几个运动性质不同的子过程时,可以选择一个、几个或全部子过程作为研究过程.
2. 当选择全部子过程作为研究过程,涉及重力、大小恒定的阻力或摩擦力做功时,要注意运用它们的做功特点:
   (1)重力做的功取决于物体的初、末高度位置,与路径无关;
   (2)大小恒定的阻力或摩擦力做的功等于力的大小与路程的乘积.
3. 专注过程与过程的连接状态的受力特征与运动特征(比如:速度、加速度或位移).
4. 列整体(或分过程)的动能定理方程.

章节练习

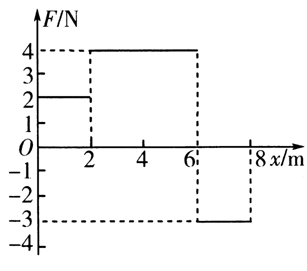
1. 如图为某同学建立的一个测量动摩擦因数的模型. 物块自左侧斜面上 A 点由静止滑下，滑过下面一段平面后，最高冲至右侧斜面上的 B 点. 实验中测量出了三个角度，左右斜面的倾角 α 和 β 及 AB 连线与水平面的夹角为 θ. 物块与各接触面间动摩擦因数相同且为 μ，忽略物块在拐角处的能量损失，以下结论中正确的是　　(　　)



A. $\mu=\tan\alpha$　　B. $\mu=\tan\beta$

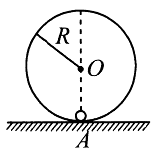
C. $\mu=\tan\theta$　　D. $\mu=\tan\dfrac{\alpha-\beta}{2}$

2. 质量为 2 kg 的物体做直线运动，沿此直线作用于物体的合力 F 与位移 x 的关系如图所示，若物体的初速度为 3 m/s，则其末速度为　　(　　)



A. 5 m/s　　B. $\sqrt{23}$ m/s　　C. $\sqrt{5}$ m/s　　D. $\sqrt{35}$ m/s

3. 如图所示，内壁光滑半径大小为 R 的圆轨道竖直固定在桌面上，一个质量为 m 的小球静止在轨道底部 A 点. 现用小锤沿水平方向快速击打小球，击打后迅速移开，使小球沿轨道在竖直平面内运动. 当小球回到 A 点时，再次用小锤沿运动方向击打小球，通过两次击打，小球才能运动到圆轨道的最高点. 已知小球在运动过程中始终未脱离轨道，在第一次击打过程中小锤对小球做功为 W_1，第二次击打过程中小锤对小球做功为 W_2，设先后两次击打过程中小锤对小球做功全部用来增加小球的动能，则 $\dfrac{W_1}{W_2}$ 的值可能是　　(　　)

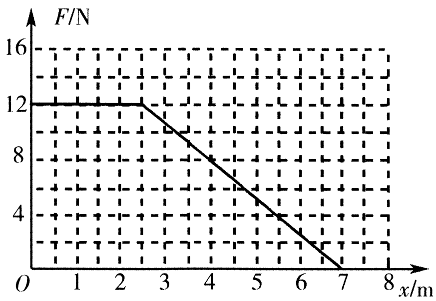


A. $\dfrac{1}{2}$　　B. $\dfrac{2}{3}$　　C. $\dfrac{3}{4}$　　D. 1

4. 地球和月球质量比为 $1:a$，半径比 $1:b$，用一根轻质细绳一端系一个小球，让小球分别在地球和月球表面做竖直面内的圆周运动，小球都是恰好能完成整个圆周运动，则当小球运动到最低点时，在地球上和月球上细绳对小球的拉力大小之比为　（　　）

A. $\frac{b^2}{a}$　　B. $\frac{a}{b^2}$　　C. $\frac{b}{a^2}$　　D. $\frac{a^2}{b}$

5. 水平地面上质量为 $m=6$ kg 的物体，在大小为 12 N 的水平拉力 F 的作用下做匀速直线运动，从 $x=2.5$ m 位置处拉力逐渐减小，力 F 随位移 x 变化规律如图所示，当 $x=7$ m 时拉力减为零，物体也恰好停下，取 $g=10$ m/s^2，下列结论中正确的是　（　　）



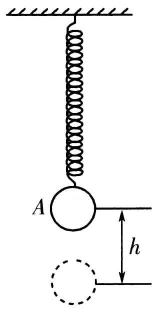
A. 物体与水平面间的动摩擦因数为 0.2

B. 合外力对物体所做的功为 −27 J

C. 物体匀速运动时的速度大小为 3 m/s

D. 在物体减速阶段拉力做功大小为 54 J

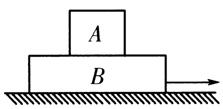
6. 如图所示，在轻弹簧的下端悬挂一个质量为 m 的小球 A，若将小球 A 从弹簧原长位置由静止释放，小球 A 能够下降的最大高度为 h. 若将小球 A 换为质量为 $3m$ 的小球 B，仍从弹簧原长位置由静止释放，则小球 B 下降 h 时的速度为(重力加速度为 g，不计空气阻力)　（　　）



A. $\sqrt{2gh}$　　B. $\sqrt{\frac{4gh}{3}}$

C. $\sqrt{gh}$　　D. $\sqrt{\frac{gh}{2}}$

7. 如图所示，一块长木板 B 放在光滑的水平面上，在 B 上放一 A 物体，现以恒定的外力 F 拉 B，使 A、B 间产生相对滑动，如果以地面为参考系，A、B 都向前移动一段距离. 在此过程中　（　　）



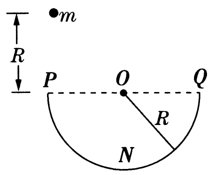
A. 外力 F 做的功等于 A 和 B 动能的增量

B. B 对 A 的摩擦力所做的功,等于 A 的动能增量

C. A 对 B 的摩擦力所做的功,等于 B 对 A 的摩擦力所做的功

D. 外力 F 对 B 做的功等于 B 的动能的增量

8. (2015·高考全国卷Ⅰ)如图,一半径为 R、粗糙程度处处相同的半圆形轨道竖直固定放置,直径 POQ 水平. 一质量为 m 的质点自 P 点上方高度 R 处由静止开始下落,恰好从 P 点进入轨道. 质点滑到轨道最低点 N 时,对轨道的压力为 $4mg$,g 为重力加速度的大小. 用 W 表示质点从 P 点运动到 N 点的过程中克服摩擦力所做的功. 则 (　　)



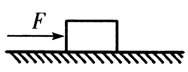
A. $W=\frac{1}{2}mgR$,质点恰好可以到达 Q 点

B. $W>\frac{1}{2}mgR$,质点不能到达 Q 点

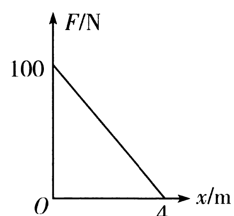
C. $W=\frac{1}{2}mgR$,质点到达 Q 点后,继续上升一段距离

D. $W<\frac{1}{2}mgR$,质点到达 Q 点后,继续上升一段距离

9. 如图甲所示,一质量为 4 kg 的物体静止在水平地面上,让物体在随位移均匀减小的水平推力 F 作用下开始运动,推力 F 随位移 x 变化的关系如图乙所示,已知物体与地面间的动摩擦因数 $\mu=0.5$,取 $g=10\ \text{m/s}^2$,则下列说法中正确的是 (　　)



甲



乙

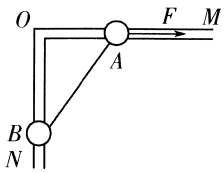
A. 物体先做加速运动,推力撤去时开始做减速运动

B. 物体在水平地面上运动的最大位移是 10 m

C. 物体运动的最大速度为 $2\sqrt{15}$ m/s

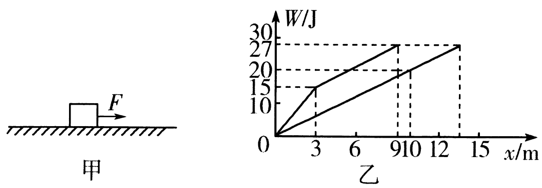
D. 物体在运动中的加速度先变小后不变

10. 如图所示,竖直平面内放一直角杆 MON,OM 水平,ON 竖直且光滑,用不可伸长的轻绳相连的两小球 A 和 B 分别套在 OM 和 ON 杆上,B 球的质量为 2 kg,在作用于 A 球的水平力 F 的作用下,A、B 两球均处于静止状态,此时 $OA=0.3$ m,$OB=0.4$ m,改变水平力 F 的大小,使 A 球向右加速运动,已知 A 球向右运动 0.1 m 时速度大小为 3 m/s,则在此过程中绳的拉力对 B 球所做的功为(取 $g=10\ m/s^2$) ( )



A. 11 J B. 16 J C. 18 J D. 9 J

11. 质量为 1 kg 的物体静止在粗糙的水平地面上,在一水平外力 F 的作用下运动,如图甲所示,外力 F 和物体克服摩擦力 f 做的功与物体位移的关系如图乙所示,重力加速度 g 取 $10\ m/s^2$. 下列分析中正确的是 ( )



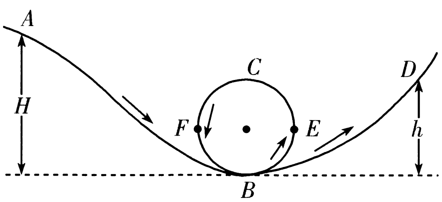
A. 物体与地面之间的动摩擦因数为 0.2

B. 物体运动的位移为 13 m

C. 物体在前 3 m 运动过程中的加速度为 $3\ m/s^2$

D. $x=9$ m 时,物体的速度为 $3\sqrt{2}$ m/s

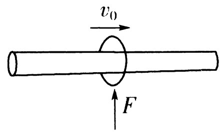
12. 如图所示,一个可视为质点的滑块从高 $H=12$ m 处的 A 点由静止沿光滑的轨道 AB 滑下,进入半径为 $r=4$ m 的竖直圆环,圆环内轨道与滑块间的动摩擦因数处处相同,当滑块到达圆环顶点 C 时,滑块对轨道的压力恰好为零,滑块继续沿 CFB 滑下,进入光滑轨道 BD,且到达高度为 h 的 D 点时速度为零,则 h 的值可能为(重力加速度大小 $g=10\ m/s^2$) ( )



A. 8 m　　B. 9 m

C. 10 m　　D. 11 m

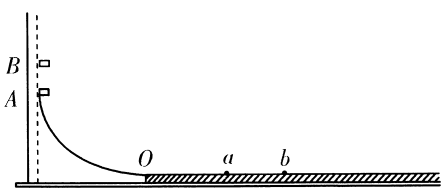
13. 如图所示,一个质量为 m 的圆环套在一根固定的水平直杆上,杆足够长,环与杆之间的动摩擦因数为 μ,现给环一个向右的初速度 v_0,如果环在运动过程中还受到一个方向始终竖直向上的力 F,且 $F=kv$(k 为常数,v 为环的速率),则环在整个运动过程中克服摩擦力所做的功不可能为　　(　　)



A. $\frac{1}{2}mv_0^2$　　B. $\frac{1}{2}mv_0^2+\frac{m^3g^2}{2k^2}$

C. 0　　D. $\frac{1}{2}mv_0^2-\frac{m^3g^2}{2k^2}$

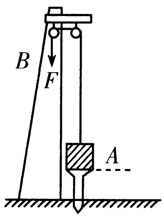
14. 某同学用如图所示装置测物块与长木板间的动摩擦因数. 图中长木板固定在水平桌面上,光滑的四分之一圆弧轨道与长木板的上表面在 O 点相切,一竖直标尺紧贴圆弧轨道左侧放置,圆弧曲面与标尺竖直面相切.



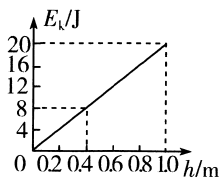
(1)在 A 点由静止释放物块,物块经圆弧轨道滑上长木板,最后停在 a 点,改变滑块释放的位置于 B 点,物块最后停在长木板上的 b 点,量出 A、B 间的高度 h,a、b 间的距离 L,重力加速度为 g,则物块与长木板间的动摩擦因数为 $\mu=$________.

(2)为了减小实验误差,多次改变物块释放的位置,测出每次物块释放的位置离 A 点的高度 h,最后停在长木板上的位置离 O 点的距离 x,作出 $x-h$ 图象,则作出的图象应该是________(填"过原点"或"不过原点")的一条倾斜的直线,求出图象的斜率为 k,则物块与斜面间的动摩擦因数 $\mu=$________.

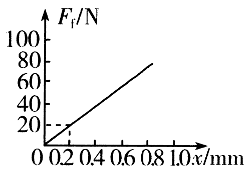
15. 打桩机是利用冲击力将桩贯入地层的桩工机械. 某同学对打桩机的工作原理产生了兴趣. 他构建了一个打桩机的简易模型,如图甲所示. 他设想,用恒定大小的拉力 F 拉动绳端 B,使物体从 A 点(与钉子接触处)由静止开始运动,上升一段高度后撤去 F,物体运动到最高点后自由下落并撞击钉子,将钉子打入一定深度. 按此模型分析,若物体质量 $m=1$ kg,上升了 1 m 高度时撤去拉力,撤去拉力前物体的动能 E_k 与上升高度 h 的关系图象如图乙所示.(g 取 10 m/s^2,不计空气阻力)



甲



乙

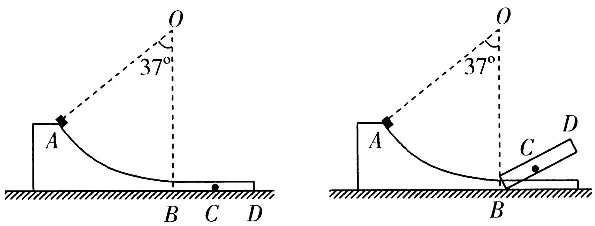


丙

(1)求物体上升到 0.4 m 高度处 F 的瞬时功率;

(2)若物体撞击钉子后瞬间弹起,且使其不再落下,钉子获得 20 J 的动能向下运动. 钉子总长为 10 cm. 撞击前插入部分可以忽略,不计钉子重力. 已知钉子在插入过程中所受阻力 F_f 与深度 x 的关系图象如图丙所示,求钉子能够插入的最大深度.

16. 如图所示，固定在水平地面上的工件，由 AB 和 BD 两部分组成. 其中 AB 部分为光滑的圆弧，$\angle AOB=37°$，圆弧的半径 $R=0.5\ \text{m}$，圆心 O 点在 B 点正上方，BD 部分水平，长度为 $L=0.2\ \text{m}$，C 为 BD 的中点. 现有一质量 $m=1\ \text{kg}$ 的物块（可视为质点），从 A 端由静止释放，恰好能运动到 D 点. 为使物块运动到 C 点时速度为零，可先将 BD 部分以 B 为轴向上转动一锐角 θ，求：



（1）该锐角 θ 大小（假设物块经过 B 点时没有能量损失）；

（2）物块在 BD 板上运动的总路程.（$g=10\ \text{m/s}^2$，$\sin 37°=0.6$，$\cos 37°=0.8$）

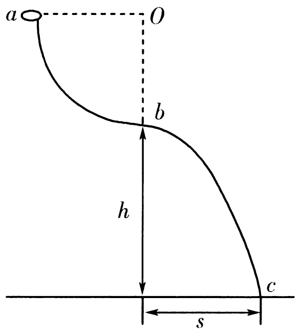
第三讲 机械能守恒定律及其应用

内容导读

机械能守恒定律的研究对象为系统,利用机械能守恒定律解题只涉及系统的初、末状态,不涉及物理过程,在某些情况下可以使问题得到简化.

典例剖析

【例 1】如图所示,位于竖直平面内的光滑轨道由四分之一圆弧 ab 和抛物线 bc 组成,圆弧半径 Oa 水平,b 点为抛物线顶点. 已知 $h=2\ \text{m}$,$s=\sqrt{2}\ \text{m}$,取重力加速度大小 $g=10\ \text{m/s}^2$.



(1)一小环套在轨道上从 a 点由静止滑下,当其在 bc 段轨道运动时,与轨道之间无相互作用力,求圆弧轨道的半径;

(2)若环从 b 点由静止因微小扰动而开始滑下,求环到达 c 点时速度的水平分量的大小.

● 解析

[**答案**] (1)0. 25 m (2)$\dfrac{2}{3}\sqrt{10}$ m/s

[**分析**]

(1)设环到 b 点时速度为 v_b,圆弧轨道半径为 r,小环从 a 到 b 由机械能守恒得

$$mgr=\frac{1}{2}mv_b^2-0 \qquad ①$$

环与 bc 段轨道间无相互作用力,从 b 到 c 环做平抛运动

$$h=\frac{1}{2}gt^2 \qquad ②$$

$$s=v_bt \qquad ③$$

联立可得 $r=\dfrac{s^2}{4h}$ ④

代入数据得 $r=0.25$ m.

●解析

(2)环从 b 点由静止下滑至 c 点过程中机械能守恒,设到 c 点时速度为 v_c,则

$$mgh=\frac{1}{2}mv_c^2-0 \quad ⑤$$

环在 bc 段两次运动过程中沿同一轨迹运动,经过同一点时速度方向相同

设环在 c 点时速度与水平方向间的夹角为 θ,则环做平抛运动时

$$\tan\theta=\frac{v_y}{v_b} \quad ⑥$$

$$v_y=gt \quad ⑦$$

联立①②⑥⑦式可得

$$\tan\theta=2\sqrt{2} \quad ⑧$$

则环从 b 点由静止开始滑到 c 点时速度的水平分量 $v_{cx}=v_c\cos\theta$ ⑨

联立⑤⑧⑨三式可得

$$v_{cx}=\frac{2}{3}\sqrt{10}\ \text{m/s}.$$

[**小结**]

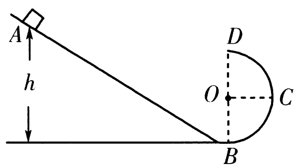
机械能是否守恒的三种判断方法:

(1)利用机械能的定义判断:若物体动能、势能之和不变,机械能守恒.

(2)利用守恒条件判断.

(3)利用能量转化判断:若物体系统与外界没有能量交换,物体系统内也没有机械能与其他形式能的转化,则物体系统机械能守恒.

【例2】如图所示轨道是由一直轨道和一半圆轨道组成的,一个小滑块从距轨道最低点 B 为 h 高度的 A 处由静止开始运动,滑块质量为 m,不计一切摩擦. 则 (　　)



A. 若滑块能通过圆轨道最高点 D,h 的最小值为 $2.5R$

B. 若 $h=2R$,当滑块到达与圆心等高的 C 点时,对轨道的压力为 $3mg$

C. 若 $h=2R$,滑块会从 C、D 之间的某个位置离开圆轨道做斜抛运动

D. 若要使滑块能返回到 A 点,则 $h\leqslant R$

●解析

[答案] ACD

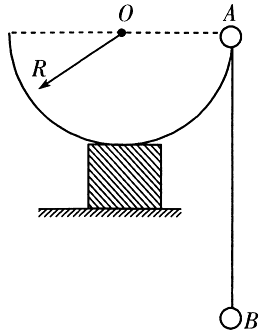
[分析]

要使滑块能通过最高点 D，则应满足 $mg=\frac{mv^2}{R}$，可得 $v=\sqrt{gR}$；即滑块的速度小于 $\sqrt{gR}$，滑决无法达到最高点；若滑块速度大于等于 $\sqrt{gR}$，则可以通过最高点做平抛运动；由机械能守恒定律可知，$mg(h-2R)=\frac{1}{2}mv^2-0$，解得 $h=2.5R$，故 A 正确；若 $h=2R$，由 A 至 C 过程由机械能守恒可得 $mg(2R-R)=\frac{1}{2}mv_C^2-0$，在 C 点，由牛顿第二定律有 $F_N=\frac{mv_C^2}{R}$，解得 $F_N=2mg$，由牛顿第三定律可知 B 错误；$h=2R$ 时小滑块不能通过 D 点，将在 C、D 中间某一位置离开圆轨道做斜上抛运动，故 C 正确；由机械能守恒可知 D 正确.

[小结]

本题由于一切摩擦不计，滑块满足机械能守恒定律. 必须注意做圆周运动到 D 点的最小速度，注意运用机械能守恒与牛顿运动定律分析圆周运动问题.

【例3】一半径为 R 的半圆形竖直圆柱面，用轻质不可伸长的细绳连接的 A、B 两球悬挂在圆柱面边缘两侧，A 球质量为 B 球质量的 2 倍，现将 A 球从圆柱边缘处由静止释放，如图所示. 已知 A 球始终不离开圆柱内表面，且细绳足够长，若不计一切摩擦，求：



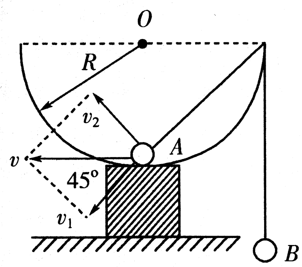
(1) A 球沿圆柱内表面滑至最低点时速度的大小；

(2) A 球沿圆柱内表面运动的最大位移.

●解析

[答案] (1)$2\sqrt{\frac{2-\sqrt{2}}{5}gR}$ (2)$\sqrt{3}R$

[分析]



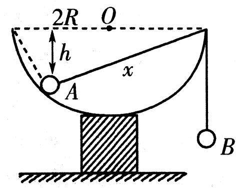
(1)设 A 球沿圆柱内表面滑至最低点时速度的大小为 v，B 球的质量为 m，则根据机械能守恒定律有

$$2mgR-\sqrt{2}mgR=\frac{1}{2}\times 2mv^2+\frac{1}{2}mv_B^2$$

由图可知，A 球的速度 v 与 B 球速度 v_B 的关系为

$$v_B=v_1=v\cos 45°$$

联立解得 $v=2\sqrt{\frac{2-\sqrt{2}}{5}gR}$.



(2)当 A 球的速度为零时，A 球沿圆柱内表面运动的位移最大，设为 x，如图所示，由几何关系可知 A 球下降的高度 $h=\frac{x}{2R}\sqrt{4R^2-x^2}$，根据机械能守恒定律有 $2mgh-mgx=0$

解得 $x=\sqrt{3}R$.

[小结]

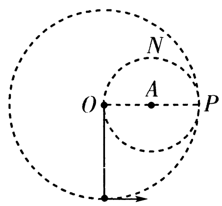
解决多物体机械能守恒问题的三点注意：

(1)对多个物体组成的系统，一般用“转化法”或“转移法”来判断系统的机械能是否守恒.

(2)注意寻找用绳或杆相连接的物体间的速度关系和位移关系.

(3)列机械能守恒方程时，一般选用 $\Delta E_k=-\Delta E_P$ 或 $\Delta E_A=-\Delta E_B$ 的形式.

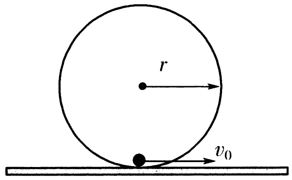
章节练习



1. 一轻绳系住一质量为 m 的小球悬挂在 O 点，在最低点先给小球一水平初速度，小球恰能在竖直平面内绕 O 点做圆周运动，若在水平半径 OP 的中点 A 处钉一枚光滑的钉子，仍在最低点给小球同样的初速度，则小球向上通过 P 点后将绕 A 点做圆周运动，则到达最高点 N 时，绳子的拉力大小为 ( )

A. 0　　B. $2mg$　　C. $3mg$　　D. $4mg$

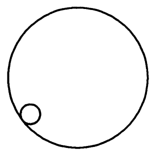
2. 如图所示，竖直放置的光滑圆轨道被固定在水平地面上，半径 $r=0.4$ m，最低点处有一小球（半径比 r 小很多），现给小球一水平向右的初速度 v_0，要使小球不脱离圆轨道运动，v_0 的大小可能为（$g=10$ m/s^2）（　　）



A. 2 m/s　　B. 4 m/s

C. 6 m/s　　D. 8 m/s

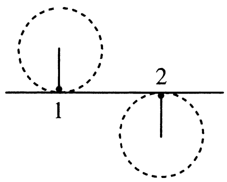
3. （2016 · 高考海南卷）如图，光滑圆轨道固定在竖直面内，一质量为 m 的小球沿轨道做完整的圆周运动. 已知小球在最低点时对轨道的压力大小为 N_1，在最高点时对轨道的压力大小为 N_2. 重力加速度大小为 g，则 N_1-N_2 的值为（　　）



A. $3mg$　　B. $4mg$

C. $5mg$　　D. $6mg$

4. 如图所示，两根等长的细线拴着两个小球在竖直平面内各自做圆周运动，某一时刻小球 1 运动到自身轨道的最低点，小球 2 恰好运动到自身轨道的最高点，这两点高度相同，此时两小球速度大小相同，若两小球质量均为 m，忽略空气阻力的影响，则下列说法中正确的是（　　）



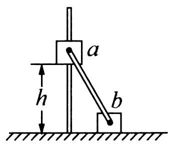
A. 此刻两根细线拉力大小相同

B. 运动过程中，两根线上拉力的差值最大为 $2mg$

C. 运动过程中，两根线上拉力的差值最大为 $10mg$

D. 若相对同一零势能面，小球 1 在最高点的机械能等于小球 2 在最低点的机械能

5. （2015 · 高考全国卷Ⅱ）如图，滑块 a、b 的质量均为 m，a 套在固定竖直杆上，与光滑水平地面相距 h，b 放在地面上. a、b 通过铰链用刚性轻杆连接，由静止开始运动. 不计摩擦，a、b 可视为质点，重力加速度大小为 g. 则（　　）



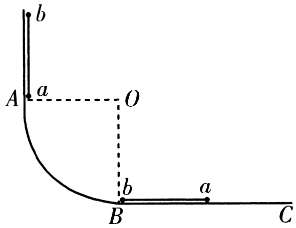
A. a 落地前，轻杆对 b 一直做正功

B. a 落地时速度大小为 $\sqrt{2gh}$

C. a 下落过程中，其加速度大小始终不大于 g

D. a 落地前，当 a 的机械能最小时，b 对地面的压力大小为 mg

6. 如图所示，有一光滑轨道 ABC，AB 部分为半径为 R 的$\frac{1}{4}$圆弧，BC 部分水平，质量均为 m 的小球 a、b 固定在竖直轻杆的两端，轻杆长为 R，不计小球大小. 开始时 a 球处在圆弧上端 A 点，由静止释放小球和轻杆，使其沿光滑轨道下滑，下列说法中正确的是（　　）



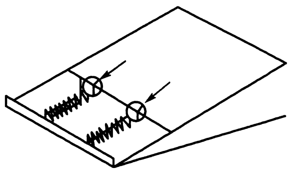
A. a 球下滑过程中机械能保持不变

B. a、b 两球和轻杆组成的系统在下滑过程中机械能保持不变

C. a、b 滑到水平轨道上时速度为 $\sqrt{2gR}$

D. 从释放到 a、b 滑到水平轨道上，整个过程中轻杆对 a 球做的功为$\frac{1}{2}mgR$

7. 如图所示，两根相同的轻质弹簧，沿足够长的光滑斜面放置，下端固定在斜面底部挡板上，斜面固定不动. 质量不同、形状相同的两物块分别置于两弹簧上端. 现用外力作用在两物块上，使两弹簧具有相同的压缩量，若撤去外力后，两物块由静止沿斜面向上弹出并离开弹簧，则从撤去外力到物块速度第一次减为零的过程中两物块（　　）



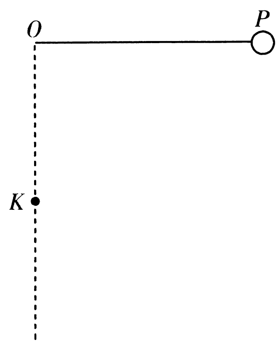
A. 最大速度相同

B. 最大加速度相同

C. 上升的最大高度不同

D. 重力势能的变化量相同

8. 如图所示，长度为 L 的细线，一端固定于 O 点，另一端拴一小球，先将细线拉直呈水平状态，使小球位于 P 点，然后无初速度释放小球，当小球运动到最低点时，细线遇到在 O 点正下方水平固定着的钉子 K，不计任何阻力，若要求小球能绕钉子在竖直面内做完整的圆周运动，则 K 与 O 点的距离可能是（　　）



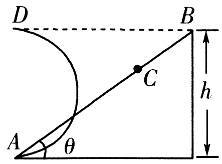
A. $\frac{4}{5}L$

B. $\frac{3}{4}L$

C. $\frac{1}{2}L$

D. $\frac{1}{3}L$

9. 如图所示,一物体以初速度 v_0 冲向光滑斜面 AB,并能沿斜面升高 h,下列说法中正确的是 ( )



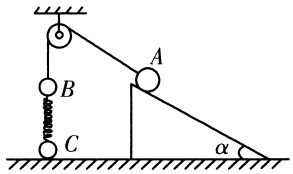
A. 若把斜面从 C 点锯断,由机械能守恒定律知,物体冲出 C 点后仍能升高 h

B. 若把斜面弯成圆弧形,物体仍能沿 AD 升高 h

C. 若把斜面从 C 点锯断或弯成圆弧状,物体都不能升高 h,因为机械能不守恒

D. 若把斜面从 C 点锯断或弯成圆弧状,物体都不能升高 h,但机械能仍守恒

10. 如图所示,A、B 两小球由绕过轻质定滑轮的细线相连,A 放在固定的光滑斜面上,B、C 两小球在竖直方向上通过劲度系数为 k 的轻质弹簧相连,C 球放在水平地面上. 现用手控制住 A,并使细线刚刚拉直但无拉力作用,并保证滑轮左侧细线竖直、右侧细线与斜面平行. 已知 A 的质量为 $4m$,B、C 的质量均为 m,重力加速度为 g,细线与滑轮之间的摩擦不计,开始时整个系统处于静止状态. 释放 A 后,A 沿斜面下滑至速度最大时 C 恰好离开地面. 下列说法中正确的是 ( )



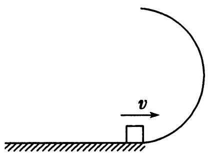
A. 斜面倾角 $\alpha=60°$

B. A 获得的最大速度为 $2g\sqrt{\frac{m}{5k}}$

C. C 刚离开地面时,B 的加速度最大

D. 从释放 A 到 C 刚离开地面的过程中,A、B 两小球组成的系统机械能守恒

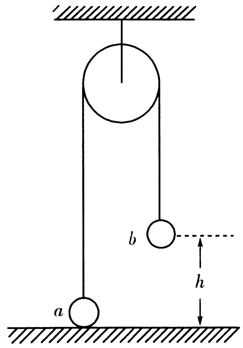
11. (2017 · 高考全国卷Ⅱ) 如图,半圆形光滑轨道固定在水平地面上,半圆的直径与地面垂直. 一小物块以速度 v 从轨道下端滑入轨道,并从轨道上端水平飞出,小物块落地点到轨道下端的距离与轨道半径有关,此距离最大时对应的轨道半径为(重力加速度大小为 g) ( )



A. $\frac{v^2}{16g}$　　B. $\frac{v^2}{8g}$

C. $\frac{v^2}{4g}$　　D. $\frac{v^2}{2g}$

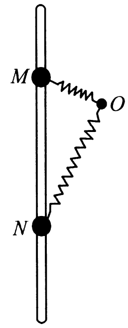
12. 如图所示,不可伸长的柔软轻绳跨过光滑定滑轮,绳两端各系一小球 a 和 b. a 球质量为 m,静置于水平地面上;b 球质量为 $3m$,用手托住,高度为 h,此时轻绳刚好拉紧. 现将 b 球释放,则 b 球着地瞬间 a 球的速度大小为 ( )



A. $\sqrt{gh}$　　B. $\sqrt{2gh}$

C. $\sqrt{\frac{gh}{2}}$　　D. $2\sqrt{gh}$

13. (2016·高考全国卷Ⅱ)如图,小球套在光滑的竖直杆上,轻弹簧一端固定于 O 点,另一端与小球相连. 现将小球从 M 点由静止释放,它在下降的过程中经过了 N 点. 已知在 M、N 两点处,弹簧对小球的弹力大小相等,且 $\angle ONM < \angle OMN < \frac{\pi}{2}$. 在小球从 M 点运动到 N 点的过程中, ( )



A. 弹力对小球先做正功后做负功

B. 有两个时刻小球的加速度等于重力加速度

C. 弹簧长度最短时,弹力对小球做功的功率为零

D. 小球到达 N 点时的动能等于其在 M、N 两点的重力势能差

14. (2016·高考全国卷Ⅱ)小球 P 和 Q 用不可伸长的轻绳悬挂在天花板上,P 球的质量大于 Q 球的质量,悬挂 P 球的绳比悬挂 Q 球的绳短. 将两球拉起,使两绳均被水平拉直,如图所示. 将两球由静止释放. 在各自轨迹的最低点, ( )



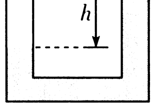
A. P 球的速度一定大于 Q 球的速度

B. P 球的动能一定小于 Q 球的动能

C. P 球所受绳的拉力一定大于 Q 球所受绳的拉力

D. P 球的向心加速度一定小于 Q 球的向心加速度

15. 如图所示,粗细均匀,两端开口的 U 形管内装有同种液体、开始时两边液面高度差为 h,管中液柱总长度为 $4h$,随后让液体自由流动,当两液面高度相等时,右侧液面下降的速度为 ( )



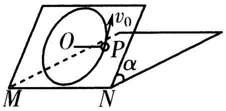
A. $\sqrt{\frac{1}{8}gh}$

B. $\sqrt{\frac{1}{6}gh}$

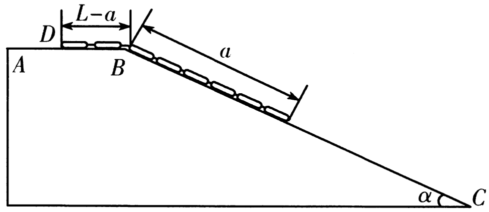
C. $\sqrt{\frac{1}{4}gh}$

D. $\sqrt{\frac{1}{2}gh}$

16. 如图所示，一块足够大的光滑平板放置在水平面上，能绕水平固定轴 MN 调节其与水平面所成的倾角. 板上一根长为 $L=0.60$ m 的轻绳，它的一端系住一质量为 m 的小球 P，另一端固定在板上的 O 点. 当平板的倾角固定为 α 时，先将轻绳平行于水平轴 MN 拉直，然后给小球一沿着平板并与轻绳垂直的初速度 $v_0=3$ m/s. 若小球能保持在板面内做圆周运动，倾角 α 的值应在什么范围内？（取重力加速度 $g=10$ m/s^2）



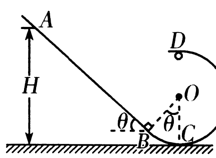
17. 如图所示，AB 为光滑的水平面，BC 是倾角为 α 的足够长的光滑斜面，斜面体固定不动. AB、BC 间用一小段光滑圆弧轨道相连. 一条长为 L 的均匀柔软链条开始时静止地放在 ABC 面上，其一端 D 至 B 的距离为$(L-a)$. 现自由释放链条，则：



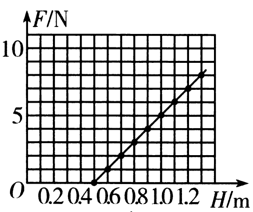
(1)链条下滑过程中，系统的机械能是否守恒？简述理由；

(2)链条的 D 端滑到 B 点时，链条的速率为多大？

18. 某实验小组做了如下实验，装置如图甲所示. 竖直平面内的光滑轨道由倾角为 θ 的斜面轨道 AB 和圆弧轨道 BCD 组成，使质量 $m=0.1$ kg 的小球从轨道 AB 上高 H 处的某点由静止滑下，用压力传感器测出小球经过圆弧轨道最高点 D 时对轨道的压力 F，改变 H 的大小，可测出相应的 F 大小，F 随 H 的变化关系如图乙所示，取 $g=10\ \text{m/s}^2$.



甲

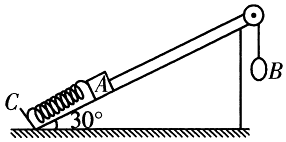


乙

(1)求圆轨道的半径 R；

(2)若小球从 D 点水平飞出后又落到斜面上，其中最低点与圆心 O 等高，求 θ 的值.

19. 如图所示，在倾角为30°的光滑斜面体上，一劲度系数为 $k=200\ \text{N/m}$ 的轻质弹簧一端连接固定挡板 C，另一端连接一质量为 $m=4\ \text{kg}$ 的物体 A，一轻细绳通过定滑轮，一端系在物体 A 上，另一端与质量也为 m 的物体 B 相连，细绳与斜面平行，斜面足够长，用手托住物体 B 使细绳刚好没有拉力，然后由静止释放，求：



(1) 弹簧恢复原长时细绳上的拉力；

(2) 物体 A 沿斜面向上运动多远时获得最大速度；

(3) 物体 A 的最大速度大小.

第四讲　功能关系及其应用

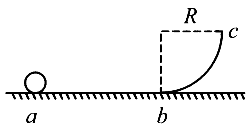
内容导读

做功的过程就是能量转化的过程. 不同形式的能量发生相互转化是通过做功来实现的.

功是能量转化的量度,功和能的关系,一是体现在不同的力做功,对应不同形式的能转化,具有一一对应关系,二是做功的多少与能量转化的多少在数值上相等. 有时候利用功能关系解题,可以避免繁杂的运算,节省时间.

典例剖析

【例 1】(2018·高考全国卷Ⅰ)如图,abc 是竖直面内的光滑固定轨道,ab 水平,长度为 $2R$; bc 是半径为 R 的四分之一圆弧,与 ab 相切于 b 点. 一质量为 m 的小球,始终受到与重力大小相等的水平外力的作用,自 a 点处从静止开始向右运动. 重力加速度大小为 g. 小球从 a 点开始运动到其轨迹最高点,机械能的增量为　　　(　　)



A. $2mgR$　　B. $4mgR$　　C. $5mgR$　　D. $6mgR$

●解析

[答案]　C

[分析]

设小球运动到 c 点的速度大小为 v_c,则对小球由 a 到 c 的过程,由动能定理有 $F\cdot 3R-mgR=\frac{1}{2}mv_c^2$,又 $F=mg$,解得 $v_c=2\sqrt{gR}$,小球离开 c 点后,在水平方向上做初速度为零的匀加速直线运动,竖直方向上在重力作用下做匀减速直线运动,由牛顿第二定律可知,小球离开 c 点后水平方向和竖直方向的加速度大小均为 g,则由竖直方向的运动可知,小球从离开 c 点到其轨迹最高点所需的时间为 $t=\frac{v_c}{g}=2\sqrt{\frac{R}{g}}$,在水平方向的位移大小为 $x=\frac{1}{2}gt^2=2R$. 由以上分析可知,小球从 a 点开始运动到其轨迹最高点的过程中,水平方向的位移大小为 $5R$,则小球机械能的增加量为 $\Delta E=F\cdot 5R=5mgR$,C 正确,A、B、D 错误.

● 解析

［小结］

几种常见力做功与对应的能量变化的关系：

1. 重力做正功，重力势能减少；重力做负功，重力势能增加，$W_G=-\Delta E_p$.

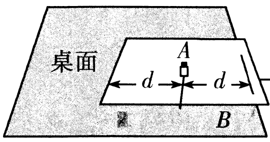
2. 弹簧等的弹力做正功，弹性势能减少；弹簧等的弹力做负功，弹性势能增加，$W_{弹}=-\Delta E_p$.

3. 电场力做正功，电势能减少；电场力做负功，电势能增加 $W_{电}=-\Delta E_p$.

4. 合力做正功，动能增加；合力做负功，动能减少 $W_{合}=\Delta E_k$.

5. 重力以外的其他力做正功，机械能增加；重力以外的其他力做负功，机械能减少，$W_{其}=\Delta E$.

【例2】如图所示，将砝码 A 放在水平桌面上的纸板 B 上，各接触面间动摩擦因数均相同，砝码到纸板左端和桌面右端的距离均为 d，在水平向右的恒力 F 的作用下，可将纸板从砝码下方抽出，且砝码刚好到达桌面右端. 则下列说法中正确的是（　　）



A. 砝码与纸板分离前后的加速度大小一定相等

B. 砝码与纸板分离时，砝码一定位于距离桌面右端 $\frac{d}{2}$ 处

C. 其他条件不变，换用更大的恒力 F，砝码将不能到达桌面右端

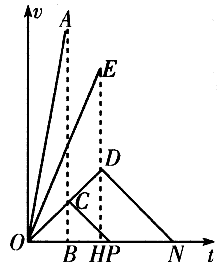
D. 其他条件不变，换用更大的恒力 F，砝码与纸板间摩擦产生的热量将减小

●解析

[答案] ABC

[分析]

砝码 A 在纸板 B 上发生相对运动时，对砝码 A 由牛顿第二定律可得：$\mu m_A g = m_A a_1$，$a_1 = \mu g$，此过程砝码 A 做加速度大小为 a_1 的匀加速直线运动；当砝码 A 落到桌面后做加速度大小为 a_2 的匀减速直线运动，对砝码 A 由牛顿第二定律可得：$\mu m_A g = m_A a_2$，$a_2 = \mu g$，砝码与纸板分离前后的加速度大小一定相等，选项 A 正确；设物体做匀加速运动的末速度大小为 v_m，则 $\frac{v_m^2}{2a_1} + \frac{v_m^2}{2a_2} = d$，砝码与纸板分离时，砝码一定位于距离桌面右端 $L = \frac{v_m^2}{2a_2} = \frac{d}{2}$ 处，选项 B 正确；砝码 A 未从纸板上掉下时，对纸板 B 由牛顿第二定律可得：$F - \mu(m_A + m_B)g - \mu m_A g = m_B a_3$，如图所示，画出砝码 A 和纸板 B 的 $v-t$ 图象，三角形 OEH 的“面积大小”表示纸板 B 的位移 x_B 的大小，三角形 ODH 的“面积大小”表示砝码 A 的位移 x_A 的大小，三角形 OED 的“面积大小”表示砝码 A 相对于纸板 B 的位移 Δx_{AB} 的大小，由几何关系可得：$\Delta x_{AB} = x_B - x_A = d$，三角形 ODN 的“面积大小”表示砝码 A 的总位移 x_A' 的大小，结合题意可得：$x_A' = d$；同理画出其他条件不变，换用更大的恒力 F 时，砝码 A 和纸板 B 的 $v-t$ 图象，三角形 OCP 的“面积大小”表示砝码 A 的总位移 x_A'' 的大小，$x_A'' < d$，即砝码将不能到达桌面右端，选项 C 正确；其他条件不变，换用更大的恒力 F，砝码与纸板间摩擦产生的热量仍为 $Q = \mu mgd$，选项 D 错误.



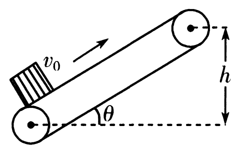
●解析

［小结］

三步求解相对滑动物体的能量问题：

1. 正确分析物体的运动过程，做好受力分析.
2. 利用运动学公式，结合牛顿第二定律分析物体的速度关系及位移关系.
3. 代入公式 $W=fx_{相对}$ 计算，其中 $x_{相对}$ 为两接触物体间的相对位移，若物体在传送带上做往复运动时，则代入总的相对路程 $s_{相对}$. 对相对路程 $s_{相对}$ 的理解，例如：如果两物体同向运动，$s_{相对}$ 为两物体对地位移大小之差；如果两物体反向运动，$s_{相对}$ 为两物体对地位移大小之和；如果一个物体相对另一个物体往复运动，则 $s_{相对}$ 为两物体相对滑行路径的总长度.

【例3】如图所示，绷紧的皮带与水平面的夹角 $\theta=30°$，皮带在电动机的带动下，始终保持 $v_0=2$ m/s 的速率运行，现把一质量为 $m=10$ kg 的工件（可看做质点）轻轻放在皮带的底端，经过时间 1.9 s，工件被传送到 $h=1.5$ m 的高处，g 取 10 m/s^2，求：



(1) 工件与传送带间的动摩擦因数；

(2) 电动机由于传送工件多消耗的电能.

●解析

［答案］ (1) $\frac{\sqrt{3}}{2}$ (2) 230 J

［分析］

(1) 由题图可知，皮带长 $x=\frac{h}{\sin 30°}=3$ m. 工件速度达 v_0 前，做匀加速运动的位移

$x_1=\bar{v}t_1=\frac{1}{2}v_0t_1$

匀速运动的位移为 $x-x_1=v_0(t-t_1)$

解得加速运动的时间 $t_1=0.8$ s

加速运动的位移 $x_1=0.8$ m

所以加速度 $a=\frac{v_0}{t_1}=2.5$ m/s^2

●解析

由牛顿第二定律有：$\mu mg\cos\theta - mg\sin\theta = ma$

解得：$\mu = \frac{\sqrt{3}}{2}$.

(2)从能量守恒的观点可知，显然电动机多消耗的电能用于增加工件的动能、势能以及克服传送带与工件之间发生相对位移时摩擦力做功产生的热量.

在时间 t_1 内，皮带运动的位移

$x_{皮} = v_0 t_1 = 1.6\ \text{m}$

在时间 t_1 内，工件相对皮带的位移

$x_{相} = x_{皮} - x_1 = 0.8\ \text{m}$

在时间 t_1 内，摩擦生热

$Q = \mu mg\cos\theta\, x_{相} = 60\ \text{J}$

工件获得的动能 $E_k = \frac{1}{2}mv_0^2 = 20\ \text{J}$

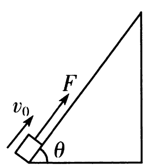
工件增加的势能 $E_p = mgh = 150\ \text{J}$

电动机多消耗的电能 $W = Q + E_k + E_p = 230\ \text{J}$.

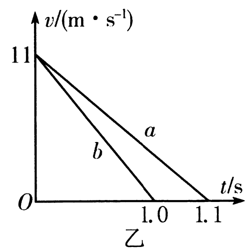
[**小结**]

从能量守恒的观点可知，电动机多消耗的电能用于增加工件的动能、势能以及克服传送带与工件之间发生相对位移时摩擦力做功产生的热量.

【例4】如图甲所示，质量为 1 kg 的小物块以初速度 $v_0 = 11\ \text{m/s}$，从 $\theta = 53°$ 固定斜面底端先后两次滑上斜面，第一次对小物块施加一沿斜面向上的恒力 F，第二次无恒力，图乙中的两条线段 a、b 分别表示存在恒力 F 和无恒力 F 时小物块沿斜面向上运动的 $v-t$ 图象，不考虑空气阻力，$g = 10\ \text{m/s}^2$，下列说法中正确的是($\sin 53° = 0.8$，$\cos 53° = 0.6$)　(　　)



甲



乙

A. 恒力 F 大小为 21 N

B. 物块与斜面间的动摩擦因数为 0.5

C. 有恒力 F 时，小物块在上升过程中机械能的减少量较大

D. 有恒力 F 时，小物块在上升过程中产生的热量较小

解析

[答案] B

[分析]

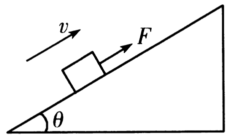
第一次对小物块施加一沿斜面向上的恒力 F,对小物块由牛顿第二定律可得:$mg\sin\theta+\mu mg\cos\theta-F=ma_1$;第二次无恒力,对小物块由牛顿第二定律可得:$mg\sin\theta+\mu mg\cos\theta=ma_2$;结合图乙可得:$a_1=10\ \text{m/s}^2$,$a_2=11\ \text{m/s}^2$,可得:恒力 F 大小为 1 N,选项 A 错误;物块与斜面间的动摩擦因数为 0.5,选项 B 正确;有恒力 F 时小物块在上升过程的加速度小于无恒力 F 时小物块在上升过程的加速度,结合 $x=\dfrac{v_t^2-v_0^2}{2a}$ 可得:有恒力 F 时小物块在上升过程的位移大小大于无恒力 F 时小物块在上升过程的位移大小,小物块在上升过程克服摩擦力做功为 $W_f=\mu mgx\cos\theta$,根据“物体克服摩擦力做的功等于物体产生的热量”可得:有恒力 F 时,小物块在上升过程产生的热量较大,选项 D 错误;根据“除去重力对物体做功外其他力做功的代数和等于物体的机械能的变化”可得:有恒力 F 时,小物块在上升过程机械能的减少量 $\Delta E_1=(\mu mg\cos 53^\circ-F)x_1=12.1\ \text{J}$,无恒力 F 时,小物块在上升过程机械能的减少量 $\Delta E_2=\mu mg\cos 53^\circ x_2=16.5\ \text{J}$,有恒力 F 时,小物块在上升过程机械能的减少量较小,选项 C 错误.

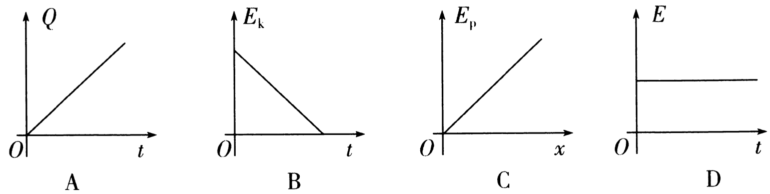
[小结]

选水平面为参考平面,小物块在上升过程机械能的减少量为 $\Delta E=\dfrac{1}{2}mv_0^2-mgx\sin\theta$,有恒力 F 时小物块在上升过程的位移大小大于无恒力 F 时小物块在上升过程的位移大小,有恒力 F 时,小物块在上升过程机械能的减少量较小,选项 C 错误.本题中特别注意 $v-t$ 图象的斜率表示物体的加速度,进而可得:有恒力 F 时,对应的图象为 a,无恒力 F 时,对应的图象为 b.

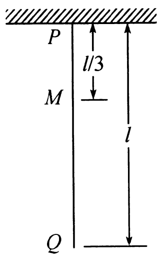
章节练习

1. 如图所示，质量为 m 的滑块以一定初速度滑上倾角为 θ 的固定斜面，同时施加一沿斜面向上的恒力 $F=mg\sin\theta$，已知滑块与斜面间的动摩擦因数 $\mu=\tan\theta$，取出发点为参考点，能正确描述滑块运动到最高点过程中产生的热量 Q、滑块动能 E_k、势能 E_p、机械能 E 随时间 t、位移 x 变化关系的是　　(　　)





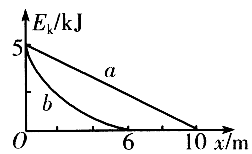
2. (2017·高考全国卷Ⅲ)如图，一质量为 m，长度为 l 的均匀柔软细绳 PQ 竖直悬挂. 用外力将绳的下端 Q 缓慢地竖直向上拉起至 M 点，M 点与绳的上端 P 相距$\frac{1}{3}l$. 重力加速度大小为 g. 在此过程中，外力做的功为　　(　　)



A. $\frac{1}{9}mgl$　　B. $\frac{1}{6}mgl$

C. $\frac{1}{3}mgl$　　D. $\frac{1}{2}mgl$

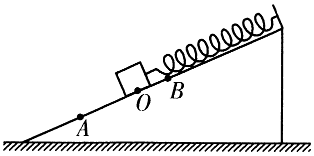
3. 构建和谐型、节约型社会深得民心，节能器材遍布于生活的方方面面，自动充电式电动车就是很好的一例，电动车的前轮装有发电机，发电机与蓄电池连接. 当骑车者用力蹬车或电动车自动滑行时，电动车就可以连通发电机向蓄电池充电，将其他形式的能转化成电能储存起来. 现有某人骑车以5 kJ 的初动能在粗糙的水平路面上滑行，第一次关闭自动充电装置，让车自由滑行，其动能随位移变化关系如图直线 a 所示；第二次启动自动充电装置，其动能随位移变化关系如图曲线 b 所示，则第二次向蓄电池所充的电能接近　　(　　)



A. 5 kJ　　B. 4 kJ

C. 3 kJ　　D. 2 kJ

4. 如图所示，斜面固定在水平面上，轻质弹簧一端固定在斜面顶端，另一端与物块相连，弹簧处于自然长度时物块位于 O 点，物块与斜面间有摩擦. 现将物块从 O 点拉至 A 点，撤去拉力后物块由静止向上运动，经 O 点到达 B 点时速度为零，则物块从 A 运动到 B 的过程中　　（　　）



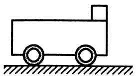
A. 经过位置 O 点时，物块的动能最大

B. 物块动能最大的位置与 AO 的距离无关

C. 物块从 A 向 O 运动过程中，弹性势能的减少量等于动能与重力势能的增加量

D. 物块从 O 向 B 运动过程中，动能的减少量大于弹性势能的增加量

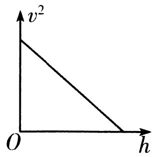
5. 如图所示，长为 L 的小车置于光滑的水平面上，小车前端放一小物块，用大小为 F 的水平力将小车向右拉动一段距离 s，物块刚好滑到小车的左端，物块与小车间的摩擦力为 f，在此过程中　　（　　）

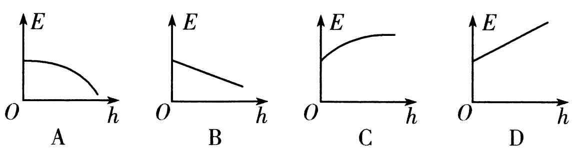


A. 系统产生的内能为 fL　　B. 系统增加的机械能为 Fs

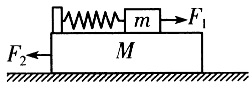
C. 物块增加的动能为 fL　　D. 小车增加的动能为 $Fs-fL$

6. 一物体仅受重力和竖直向上的拉力作用，沿竖直方向向上做减速运动. 此过程中物体速度的平方和上升高度的关系如图所示. 若取 $h=0$ 处为重力势能等于零的参考平面，则此过程中物体的机械能随高度变化的图象可能正确的是　　（　　）





7. 如图所示,一轻弹簧左端固定在长木板 M 的左端,右端与小木块 m 连接,且 m 与 M 及 M 与地面间接触面光滑,开始时,m 和 M 均静止,现同时对 m、M 施加等大反向的水平恒力 F_1 和 F_2,从两物体开始运动到以后的整个运动过程中,弹簧形变不超过其弹性限度. 对于 m、M 和弹簧组成的系统,下列说法中正确的是 ( )



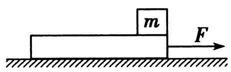
A. 由于 F_1、F_2 等大反向,故系统机械能守恒

B. 当弹簧弹力大小与 F_1、F_2 大小相等时,m、M 各自的动能最大,此时系统机械能最大

C. 运动的过程中,m、M 动能的变化量加上弹簧弹性势能的变化量等于 F_1、F_2 做功的代数和

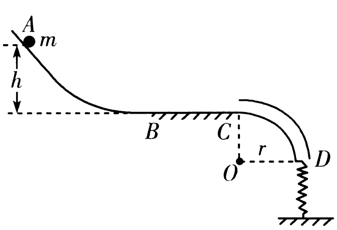
D. 在运动过程中 m 的最大速度一定大于 M 的最大速度

8. 如图所示,一足够长的木板在光滑的水平面上以速度 v 向右匀速运动,现将质量为 m 的物体轻轻地放置在木板上的右端,已知物体 m 和木板之间的动摩擦因数为 μ,为保持木板的速度不变,从物体 m 放到木板上到它相对木板静止的过程中,须对木板施加一水平向右的作用力 F,那么力 F 对木板做功的数值为 ( )



A. $\frac{1}{4}mv^2$　　B. $\frac{1}{2}mv^2$　　C. mv^2　　D. $2mv^2$

9. 如图所示,在某竖直平面内,光滑曲面 AB 与水平面 BC 平滑连接于 B 点,BC 右端连接内壁光滑、半径 $r=0.2$ m 的四分之一细圆管 CD,管口 D 端正下方直立一根劲度系数 $k=100$ N/m 的轻弹簧,弹簧一端固定,另一端恰好与管口 D 端平齐. 一个质量为 1 kg 的小球放在曲面 AB 上,现从距 BC 的高度 $h=0.6$ m 处静止释放小球,它与 BC 间的动摩擦因数 $\mu=0.5$,小球进入管口 C 端时,它对上管壁有 $F_N=2.5mg$ 的作用力,通过 CD 后,在压缩弹簧过程中小球速度最大时弹簧的弹性势能 $E_p=0.5$ J. 重力加速度 g 取 10 m/s^2. 求:

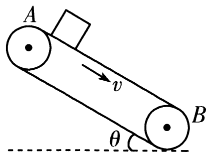


(1)小球在 C 处受到的向心力大小；

(2)在压缩弹簧过程中小球的最大动能 E_{km}；

(3)小球最终停止的位置.

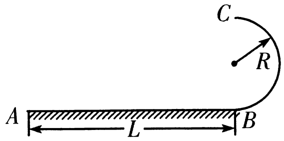
10. 如图所示，传送带与地面的夹角 $\theta=37°$，A、B 两端间距 $L=16$ m，传送带以速度 $v=10$ m/s，沿顺时针方向运动，物体 $m=1$ kg，无初速度地放置于 A 端，它与传送带间的动摩擦因数 $\mu=0.5$，试求：($\sin 37°=0.6$，$\cos 37°=0.8$)



(1)物体由 A 端运动到 B 端的时间；

(2)系统因摩擦产生的热量.

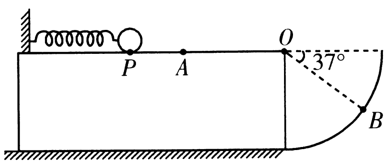
11. 某校物理兴趣小组决定举行遥控赛车比赛,比赛路径如图所示.可视为质点的赛车从起点 A 出发,沿水平直线轨道运动 L 后,由 B 点进入半径为 R 的光滑竖直半圆轨道,并通过半圆轨道的最高点 C,才算完成比赛. B 是半圆轨道的最低点,水平直线轨道和半圆轨道相切于 B 点.已知赛车质量 $m=0.5\ \mathrm{kg}$,通电后以额定功率 $P=2\ \mathrm{W}$ 工作,进入竖直半圆轨道前受到的阻力恒为 $f=0.4\ \mathrm{N}$,随后在运动中受到的阻力均可不计, $L=10.0\ \mathrm{m}$, $R=0.32\ \mathrm{m}$, g 取 $10\ \mathrm{m/s^2}$.



(1)要使赛车完成比赛,电动机至少工作多长时间?

(2)若电动机工作时间为 $t_0=5\ \mathrm{s}$,当半圆轨道半径为多少时赛车既能完成比赛且飞出的水平距离又最大?水平距离最大是多少?

12. 如图所示,一个半径为 R 的 $\frac{1}{4}$ 圆周的轨道, O 点为圆心, B 为轨道上的一点, OB 与水平方向的夹角为 $37°$.轨道的左侧与一固定光滑平台相连,在平台上一轻质弹簧左端与竖直挡板相连,弹簧原长时右端在 A 点.现用一质量为 m 的小球(与弹簧不连接)压缩弹簧至 P 点后释放.已知重力加速度为 g,不计空气阻力.



(1)若小球恰能击中 B 点,求刚释放小球时弹簧的弹性势能;

(2)试通过计算判断小球落到轨道时速度能否与圆弧垂直;

(3)改变释放点的位置,求小球落到轨道时动能的最小值.

答案与解析

必修1　第一章　直线运动

第一讲　运动的描述

［章节练习］

1. **答案**:B

解析:研究跳水比赛中选手在空中的动作时,不能把选手看做质点,A 错误;确定帆船在水面上的位置时,不用考虑船的大小能看做质点,B 正确;研究乒乓球的旋转时,乒乓球不能看做质点,C 错误;运动员冲线过程可以是身体的不同位置接触终点线,不能看做质点,D 错误.

2. **答案**:D

解析:首先找出描述物体运动时选的参考系,弄清运动方向及速度大小关系,再以地面为参考系,分析物体的运动情况. 甲车内的同学看到乙车不动,说明甲、乙两车的运动状态相同,故 A、B、C 错误;乙车内的同学看到树木向西移动,说明乙车相对地面向东运动,选项 D 正确.

3. **答案**:D

解析:金星通过太阳和地球之间时,我们才看到金星没有被太阳照亮的一面呈黑色,选项 A 错误;因为太阳的大小对所研究问题起着至关重要的作用,所以观测"金星凌日"不能将太阳看成质点,选项 B 错误;金星绕太阳一周,起点与终点重合,位移为零,选项 C 错误;金星相对于太阳的空间位置发生了变化,所以以太阳为参考系,金星是运动的,选项 D 正确.

4. **答案**:C

解析:质点的速度越大,加速度不一定越大,比如质点以较大速度做匀速直线运动,加速度为零,故 A 错误;质点的速度变化量越大,加速度不一定越大,还与变化的时间有关,故 B 错误;当质点加速度的方向与速度方向相同时,加速度减小,速度增大,故 C 正确;根据 $a=\frac{\Delta v}{\Delta t}$知,加速度的方向与速度变化量的方向相同,故 D 错误.

5. **答案**:BC

解析:从 A 到 B 位移为 9 km,用时$\frac{1}{12}$ h,由平均速度定义式可得整个过程的平均速度为 108 km/h,故 A 错误、B 正确;速度计显示的是瞬时速度大小,故 C 正确;经过 C 时速度的方向沿 C 点切线指向运动方向,故 D 错误.

6. **答案**:B

解析:由 $v=6t^2$(m/s)得,当 $t=2$ s 时,$v=24$ m/s;根据质点离开 O 点的距离随时间变化的关系为 $x=(5+2t^3)$ m 得:当 $t=2$ s 时,$x_2=21$ m,$t=3$ s 时,$x_3=59$ m;则质点在 $t=2$ s 到 $t=3$ s 时间内的位移 $\Delta x=x_3-x_2=38$ m,$\bar{v}=\dfrac{\Delta x}{\Delta t}=\dfrac{38}{1}$ m/s $=38$ m/s,故选项 B 正确.

第二讲　匀变速直线运动规律

[**章节练习**]

1. **答案**:A

解析:根据“做匀变速直线运动的物体在某一段时间内中间时刻的瞬时速度等于这一段时间的平均速度”可得:$v_1=\dfrac{L}{t_1}=12.5$ m/s,$v_2=\dfrac{L}{t_2}=5$ m/s,由 $v_t=v_0+at$ 可得:动车进站时的加速度大小为$\dfrac{15}{7}$ m/s^2,选项 A 正确.

2. **答案**:B

解析:水做竖直上抛运动的初速度为 v_0,$Q=Sv_0$,水在空中的时间为 $t=\dfrac{2v_0}{g}$,水在空中的体积 $V=Qt$,则空中水的质量为 $m=\rho V=\dfrac{2\rho Q^2}{gS}$,选项 B 正确.

3. **答案**:A

解析:由 $v_t=v_0+at$ 可得:$kv_0=v_0+at$,由 $x=\dfrac{v_0+v_t}{2}t$ 可得:$x=\dfrac{v_0+kv_0}{2}t$

在随后的 $4t$ 时间内,质点的位移大小为

$x'=4kv_0t+\dfrac{1}{2}a\times(4t)^2$,可得:$x'=\dfrac{8(3k-2)x}{k+1}$,选项 A 正确.

4. **答案**:B

解析:设第一阶段的末速度为 v,则由题意可知:$\dfrac{v^2}{2a_1}+\dfrac{v^2}{2a_2}=s$,解得:$v=\sqrt{\dfrac{2a_1a_2s}{a_1+a_2}}$;

而 $s=\dfrac{0+v}{2}t_1+\dfrac{v+0}{2}t_2=\dfrac{v}{2}t$,由此解得:$t=\sqrt{\dfrac{2s(a_1+a_2)}{a_1a_2}}$,故选项 B 正确.

5. **答案**:C

解析:根据 $\bar{v}=v_{\frac{t}{2}}$可知,质点在 8.5 s 时刻的速度比在 4.5 s 时刻的速度大 4 m/s,所以加速度 $a=\dfrac{\Delta v}{\Delta t}=\dfrac{4\ \text{m/s}}{4\ \text{s}}=1$ m/s^2,$v_9=v_0+at=9.5$ m/s,$x_9=\dfrac{1}{2}(v_0+v_9)t=45$ m,选项 C 正确.

6. **答案**:AC

解析:由于斜面光滑,物块沿斜面向上与向下运动的加速度大小相同,$a=g\sin\theta$,故物块从 c 点运动到 b 点所用的时间等于从 b 点运动到 c 点所用的时间,选项 A 正确,B 错误;物块由 b 点到 a 点的过程是初速度为零的匀加速直线运动,则可知 $\frac{t_{bc}}{t}=\frac{1}{\sqrt{2}}$,解得 $t_{bc}=\frac{\sqrt{2}}{2}t$,选项 C 正确;由于 c 点是位移的中点,物块上滑过程中通过 c 点的速度不等于整个上滑过程的平均速度,选项 D 错误.

7. **答案**:ACD

解析:当物体的位移为 4 m 时,根据 $x=v_0t+\frac{1}{2}at^2$ 得 $4\ \text{m}=5\ \text{m/s}\times t-\frac{1}{2}\times 2\ \text{m/s}^2\times t^2$

解得 $t_1=1\ \text{s}$,$t_2=4\ \text{s}$;

当物体的位移为 −4 m 时,根据 $x=v_0t+\frac{1}{2}at^2$ 得 $-4\ \text{m}=5\ \text{m/s}\times t-\frac{1}{2}\times 2\ \text{m/s}^2\times t^2$

解得 $t_3=\frac{5+\sqrt{41}}{2}\ \text{s}$,故 A、C、D 正确,B 错误.

8. **答案**:C

解析:因为物体在 AB 段的平均速度大小为 3 m/s,所以 $3\ \text{m/s}=\frac{v_A+v_B}{2}$,在 BC 段的平均速度大小为 6 m/s,所以 $6\ \text{m/s}=\frac{v_C+v_B}{2}$,即 $v_C-v_A=6\ \text{m/s}$;又因为 $AB=BC$,故 $v_B^2-v_A^2=v_C^2-v_B^2$ 代入整理得 $v_C-v_B=2\ \text{m/s}$,与 $v_C+v_B=12\ \text{m/s}$ 联立解得 $v_B=5\ \text{m/s}$,故 C 正确.

9. **答案**:A

解析:根据汽车刹车后的坐标 x 与时间 t 的关系 $x=30t-5t^2\ (\text{m})$,对比匀变速直线运动的规律 $x=v_0t+\frac{1}{2}at^2$,可知汽车刹车过程的初速度大小为 30 m/s,加速度大小为 10 m/s^2,故选项 A 正确.

10. **答案**:ABD

解析:在两个过程中速度变化量大小相等,时间之比为 1 ∶ 3,由 $a=\frac{\Delta v}{\Delta t}$得,先后两个过程的加速度大小之比为 3 ∶ 1,选项 A 正确;由 $\bar{v}=\frac{v_0+v}{2}$得,平均速度大小之比为 1 ∶ 1,选项 B 正确;由 $x=\bar{v}t$ 得,两个过程的位移大小之比为 1 ∶ 3,选项 C 错误、D 正确.

11. **答案**:D

解析:设质点运动的加速度为 a,由于两个过程速度变化量相等,故所用时间相等,设为 t,则有 $t=\frac{\Delta v}{a}$. 根据做匀变速直线运动的物体在任意相邻相等时间内的位移之差相等有 $x_2-x_1=at^2$,解得 $a=\frac{(\Delta v)^2}{x_2-x_1}$,选项 D 正确.

12. **答案**:BC

解析:当滑块速度大小减为$\frac{v_0}{2}$时,其方向可能与初速度方向相同,也可能与初速度方向相反,因此要考虑两种情况,即$v=\frac{v_0}{2}$或$v=-\frac{v_0}{2}$,代入公式$t=\frac{v-v_0}{a}$得$t=\frac{v_0}{g}$或$t=\frac{3v_0}{g}$,故B、C正确.

13. **答案**:AD

解析:匀速运动时

$x=vt$ ①

匀加速、匀减速运动时$x=\frac{1}{2}v_{m}t$ ②

由①②式得

$v_{m}=2v$ ③

由$v^2=2ax$得:$\frac{v_{m}^2}{2a_1}+\frac{v_{m}^2}{2a_2}=x$ ④

由①③④式得:$\frac{a_1a_2}{a_1+a_2}=\frac{2v}{t}$,故选项A、D正确.

14. **答案**:BD

解析:根据题中图表的数据,可以求出物体下滑的加速度$a_1=4\ m/s^2$和在水平面上的加速度$a_2=-2\ m/s^2$.根据运动学公式:$8\ m/s+a_1t_1+a_2t_2=12\ m/s$,$t_1+t_2=2\ s$,解出$t_1=\frac{4}{3}\ s$,知经过$\frac{10}{3}\ s$到达$B$点,到达$B$点时的速度$v=a_1t=\frac{40}{3}\ m/s$.如果第4 s还在斜面上,速度应为16 m/s,从而判断出第4 s已过B点,是在2 s到4 s之间经过B点.所以最大速度不是12 m/s,故A、C错误;第6 s末的速度是8 m/s,到停下来还需时间$t'=\frac{0-8}{-2}\ s=4\ s$,所以到$C$点的时间为10 s,故B正确;根据$v^2-v_0^2=2ax$,求出$AB$段的长度为$\frac{200}{9}\ m$,$BC$段长度为$\frac{400}{9}\ m$,则$A$、$B$间的距离小于$B$、$C$间的距离,故D正确.

15. **答案**:(1)1.10　(2)0.765

解析:(1)根据“做匀变速直线运动的物体在连续相等的时间内位移差为定值”可得:$a=\frac{s_4+s_3-s_2-s_1}{4T^2}=1.10\ m/s^2$.

(2)根据“做匀变速直线运动的物体在某一段时间内中间时刻的瞬时速度等于这一段时间内的平均速度”可得:小球在位置B的速度为$v_B=\frac{s_1+s_2}{2T}=0.875\ m/s$,由$v_t=v_0+at$可得:$v_A=v_B-aT=0.765\ m/s$.

16. **答案**:(1)$(2-\sqrt{3})$ s (2)$(\sqrt{5}-\sqrt{3})$ s

解析:(1)木杆由静止开始做自由落体运动,木杆的下端到达圆筒上端 A 所用的时间

$$t_{下A}=\sqrt{\frac{2h_{下A}}{g}}=\sqrt{\frac{2\times 15}{10}}\ \text{s}=\sqrt{3}\ \text{s},$$

木杆的上端到达圆筒上端 A 所用的时间

$$t_{上A}=\sqrt{\frac{2h_{上A}}{g}}=\sqrt{\frac{2\times 20}{10}}\ \text{s}=2\ \text{s},$$

则木杆通过圆筒上端 A 所用的时间

$$t_1=t_{上A}-t_{下A}=(2-\sqrt{3})\ \text{s}.$$

(2)木杆的上端到达圆筒下端 B 所用的时间

$$t_{上B}=\sqrt{\frac{2h_{上B}}{g}}=\sqrt{\frac{2\times 25}{10}}\ \text{s}=\sqrt{5}\ \text{s},$$

则木杆通过圆筒所用的时间

$$t_2=t_{上B}-t_{下A}=(\sqrt{5}-\sqrt{3})\ \text{s}.$$

17. **答案**:1 : 3

解析:根据题意可知:物体在第一个时间 t 内做匀加速直线运动,在第二个时间 t 内先做匀减速运动到速度为零然后反向加速,取初始速度方向为正方向.

针对两个运动阶段由位移公式有 $x=\frac{1}{2}a_1t^2$,

$$-x=a_1t\cdot t+\frac{1}{2}(-a_2)t^2,$$

联立解得 $\frac{a_1}{a_2}=\frac{1}{3}$.

18. **答案**:(1)143 m (2)29 s

解析:(1)汽车通过 ETC 通道时:

匀减速过程:$x_1=\frac{v_1^2-v_2^2}{2a_1}=45\ \text{m}$

匀加速过程:$x_2=\frac{v_1^2-v_2^2}{2a_2}=90\ \text{m}$

汽车的总位移:$x=x_1+d+x_2=143\ \text{m}$.

(2)汽车通过 ETC 通道时:

匀减速过程:$t_1=\frac{v_1-v_2}{a_1}=5\ \text{s}$

匀速过程：$t_2=\frac{d}{v_2}=2\ \text{s}$

匀加速过程：$t_3=\frac{v_1-v_2}{a_2}=10\ \text{s}$

汽车通过 ETC 通道的总时间：$t=t_1+t_2+t_3=17\ \text{s}$

汽车通过人工收费通道时匀减速过程：$t_1'=\frac{v_1}{a_1}=7\ \text{s}$

匀加速过程：$t_2'=\frac{v_1}{a_2}=14\ \text{s}$

汽车通过人工通道的总时间：$t'=t_1'+t_0+t_2'=46\ \text{s}$

汽车节约的时间：$\Delta t=t'-t=29\ \text{s}$.

第三讲　运动图象　追及、相遇问题

［章节练习］

1. **答案**：C

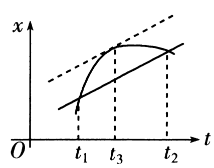
解析：由题图可知甲车做匀速直线运动，速度 $v_甲=\frac{\Delta x}{\Delta t}=\frac{20}{5}\ \text{m/s}=4\ \text{m/s}$，故 A 错误；由题图可知乙车做匀减速直线运动，可看做是反方向的匀加速直线运动，则有 $x=\frac{1}{2}at^2$. 当其反向运动 5 s 时，位移为 20 m. 则有 $20=\frac{1}{2}a\cdot 5^2$，得加速度大小 $a=1.6\ \text{m/s}^2$. 因其共运动了 10 s，可得 $x_0=\frac{1}{2}\times1.6\times10^2\ \text{m}=80\ \text{m}$，故 C 正确、B 错误；$t=5\ \text{s}$ 时，两车相遇，但甲车速度 $v_甲=4\ \text{m/s}$ 小于乙车速度 $v_乙=8\ \text{m/s}$，故 D 错误.

2. **答案**：A

解析：由题图可知，因在 $0\sim t_3$ 时间内甲、乙两质点的速度图线与 t 轴所围"面积"相等，说明位移相等，则甲、乙两质点的平均速度相等，故 A 正确；在 $0\sim t_1$ 时间内，甲的图线斜率为正值，加速度为正方向，在 $t_2\sim t_3$ 时间内，乙的图线斜率为负值，加速度为负方向，两个加速度不相同，故 B 错误；甲质点在 $0\sim t_1$ 时间内的平均速度等于$\frac{0+v_0}{2}=\frac{v_0}{2}$，乙质点在 $0\sim t_2$ 时间内的平均速度等于$\frac{0+v_0}{2}=\frac{v_0}{2}$，故 C 错误；由题图可知甲、乙两质点的速度均为正值. 则两质点均做单向直线运动，不可能回到出发点，故 D 错误.

3. **答案**：BC

解析：由题图可知，t_1 时刻，b 车追上 a 车，故 A 错误；$x-t$ 图象的斜率表示速度，由于 t_2 时刻 a、b 两图象的斜率一正、一负，故两车运动方向相反，故 B 正确；由 b 图线的斜率的变化可以看出 t_1 到 t_2 这段时间 b 车的速率先减小后反向增大，故 C 正确；如图所示，在 t_3 时刻 b 图线的斜率与 a 图线的相等，此时两车的速率相等，故 D 错误.



4. **答案**:A

解析:根据题图 $v-t$ 图象中图线与时间轴所围的面积表示位移,可以看出汽车甲的位移 $x_{甲}$ 大于汽车乙的位移 $x_{乙}$,选项 C 错误;根据 $v=\frac{x}{t}$得,汽车甲的平均速度 $v_{甲}$ 大于汽车乙的平均速度 $v_{乙}$,选项 A 正确;汽车乙的位移 $x_{乙}$ 小于初速度为 v_2、末速度为 v_1 的匀减速直线运动的位移 x,即汽车乙的平均速度小于 $\frac{v_1+v_2}{2}$,选项 B 错误;根据 $v-t$ 图象的斜率反映了加速度的大小,可知汽车甲、乙的加速度大小都逐渐减小,选项 D 错误.

5. **答案**:A

解析:在题图所给的 $v-t$ 图象中,相应图线与时间轴所围的面积表示位移,前 1 s 内物体的位移大小 $x=\frac{1}{2}\times1\times2\ \text{m}=1\ \text{m}$,选项 A 正确;在 1 ~3 s 内物体的加速度 $a=\frac{\Delta v}{\Delta t}=\frac{0-2\ \text{m/s}}{3\ \text{s}-1\ \text{s}}=-1\ \text{m/s}^2$,第 2 s 末物体的瞬时速度 $v=v_0+at=2\ \text{m/s}-1\ \text{m/s}^2\times1\ \text{s}=1\ \text{m/s}$,选项 B、C 错误;第 1 s 内物体做匀加速直线运动,1 ~3 s 内物体做匀减速直线运动,选项 D 错误.

6. **答案**:B

解析:$x-t$ 图象是倾斜的直线表示物体做匀速直线运动,则由题图知 a、b 两物体都做匀速直线运动,a、b 两图线的斜率大小相等、正负相反,说明两物体的速度大小相等、方向相反,所以速度不同,故 A、D 错误;图线 c 是一条 $x=0.4t^2$ 的抛物线,结合 $x=v_0t+\frac{1}{2}at^2$ 可知,c 物体做初速度为 0、加速度为0.8 m/s^2的匀加速直线运动,故 B 正确;图线的斜率大小等于速度大小,根据题图可知,$t=5$ s 时 c 物体速度比 a 物体速度大,故 C 错误.

7. **答案**:C

解析:物体先做自由落体运动,物体的落地速度为 $v_1=6\ \text{m/s}$,由 $v_t=v_0+at$ 可得:$6\ \text{m/s}=10\ \text{m/s}^2\times t_1$,解得:$t_1=0.6\ \text{s}$,横坐标每一小格表示的时间是 0.1 s,选项 A 错误;小球下落的初始位置离地面的高度为 $h_1=\frac{1}{2}gt_1^2=1.8\ \text{m}$,选项 B 错误;小球第一次反弹离开地面的速度大小为 $v_2=5\ \text{m/s}$,小球第一次反弹的最大高度为 $h_2=\frac{v_2^2}{2g}=1.25\ \text{m}$,选项 C 正确,选项 D 错误.

8. **答案**:B

解析:b 车加速度增大,选项 D 错误;a 车加速度不变,选项 C 错误;在 t_3 时刻,两车的速度相等,两车相距最远,选项 A 错误,选项 B 正确.

9. **答案**:A

解析:由 $x=v_0t+\frac{1}{2}at^2$ 可得:$\frac{x}{t}=v_0+\frac{1}{2}at$,结合题图图象可得:$v_0=0.5\ \text{m/s}$,$\frac{1}{2}a=0.5\ \text{m/s}^2$,$a=1\ \text{m/s}^2$,物体做初速度大小为 $v_0=0.5\ \text{m/s}$,加速度大小为 $a=1\ \text{m/s}^2$ 的匀加速直线运动,选项 A 正确.

10. **答案**:AC

解析:根据题图图象可知,在 t_1 时刻 a、b 速度相等,故 A 正确;0 时刻两车同时经过公路旁的同一个路标,在 t_1 时间内 a 车速度大于 b 车速度,a 车在 b 车的前方,所以两车逐渐远离,距离增大,故 B 错误;$0\sim t_1$ 时间内,a 的位移最大,所以 a 位于 b、c 前面,t_1 时刻以后的一段时间内,a 位于 b、c 前面,故 C 正确,D 错误.

11. **答案**:D

解析:由题图可知,甲、乙两个物体在 $t=1\ \text{s}$ 时两物体相遇,由于速度大的物体追速度小的物体,$t=0$ 时,甲物体在后,乙物体在前,选项 A 错误;在 $t=1\ \text{s}$ 到 $t=3\ \text{s}$ 的时间内甲和乙两个物体的位移相等,$t=3\ \text{s}$ 时,两物体再次相遇,选项 B、C 错误;$t=0$ 时两物体相距 $3x_0$,结合图象可得:$t=4\ \text{s}$ 时,甲物体在乙物体后 $3x_0$ 处,选项 D 正确.

12. **答案**:A

解析:在题图所给的 $v-t$ 图象中,某一点切线的斜率表示加速度可判断:在 6 s 末,质点 A 的加速度大于质点 B 的加速度,选项 A 正确;在 0 ~ 12 s 时间内,质点 A 的位移大小为 $x_A=10.5\ \text{m}$,质点 A 的平均速度为 $\frac{7}{8}\ \text{m/s}$,选项 B 错误;质点 A 在 0 ~ 9 s 时间内的位移大小为 3 m,质点 B 在 0 ~ 3 s 时间内的位移大小为 6 m,选项 C 错误;在 0 ~ 12 s 时间内,质点 B 的位移大小为 $x_B=37.5\ \text{m}$,在 12 s 末,A、B 两质点不相遇,选项D 错误.

13. **答案**:BD

解析:在 $v-t$ 图象中某一点切线的斜率表示加速度,由题图可知,t_1 时刻两车加速度大小相等,方向相反,选项 A 错误;在 $v-t$ 图象中图线和坐标轴所围的“面积”的大小等于物体的位移大小,$0\sim t_2$ 时间内两车发生的位移相同,选项 B 正确;t_4 时刻两车相距最远,选项 D 正确,选项 C 错误.

14. **答案**:(1)7.5 m (2)2.5 s

解析:(1)设 A 球滑上斜坡后经过 t_1 时间 B 球滑上斜坡,则有 $t_1=\frac{L}{v_0}=1\ \text{s}$

A 球滑上斜坡后加速度 $a=g\sin 30^\circ=5\ \text{m/s}^2$

设这段时间内 A 球向上运动的位移为 x,则

$x=v_0t_1-\frac{1}{2}at_1^2=7.5\ \text{m}$;

(2) B 球刚要滑上斜坡时 A 球速度 $v_1=v_0-at_1=5\ \text{m/s}$

B 球滑上斜坡时,加速度与 A 球相同,以 A 球为参考系,B 球相对于 A 球以 $v=v_0-v_1=5\ \text{m/s}$

做匀速运动,设再经过时间 t_2 两球相遇,有 $t_2=\frac{x}{v}=1.5\ \text{s}$

则两球相遇时所经过的时间 $t=t_1+t_2=2.5\ \text{s}$.

15. **答案**:两车会相撞

解析:令 $a_1=-10\ \text{m/s}^2$,$a_2=5\ \text{m/s}^2$,$a_3=-5\ \text{m/s}^2$

在 $t_1=4\ \text{s}$ 末,甲车速度 $v_1=v_0+a_1t_1=0$

设之后再经过 t_2 时间甲、乙两车速度相等,此时乙车与甲车的位移之差最大.

由 $a_2t_2=v_0+a_3t_2$

解得 $t_2=4\ \text{s}$

此时甲车总位移 $x_甲=\frac{v_0}{2}t_1+\frac{1}{2}a_2t_2^2=120\ \text{m}$

乙车总位移 $x_乙=v_0t_1+v_0t_2+\frac{1}{2}a_3t_2^2=280\ \text{m}$

因 $x_乙-x_甲=160\ \text{m}>90\ \text{m}$,故此过程两车会相撞.

16. **答案**:9 m

解析:由题图可知:a 车的速度 $v_a=\frac{8-2}{3}\ \text{m/s}=2\ \text{m/s}$

$t=3\ \text{s}$ 时,直线 a 和曲线 b 刚好相切,即此时 b 车的速度 $v_b'=v_a=2\ \text{m/s}$

设 b 车的初速度为 v_b,对 b 车,有 $v_b+at=v_b'$

解得 $v_b=8\ \text{m/s}$

$t=3\ \text{s}$ 时,a 车的位移 $x_a=v_at=6\ \text{m}$

b 车的位移 $x_b=\frac{v_b+v_b'}{2}t=15\ \text{m}$

由题图知,$t=3\ \text{s}$ 时 a 车和 b 车到达同一位置,得 $x_0=x_b-x_a=9\ \text{m}$.

必修1 第二章 相互作用

第一讲 重力、弹力、摩擦力

[章节练习]

1. **答案**:C

解析:小车在光滑斜面上自由下滑,则加速度 $a=g\sin\theta$(θ 为斜面的倾角),由牛顿第二定律可知小球所受重力和杆的弹力的合力沿斜面向下,且小球的加速度等于 $g\sin\theta$,则杆的弹力方向垂直于斜面向上,杆不会发生弯曲或倾斜,故 C 正确.

2. **答案**:D

解析:若小球与小车一起做匀速运动,则细绳对小球无拉力作用;若小球与小车有向右的加速度 $a=g\tan\alpha$,则轻弹簧对小球无弹力作用,故 D 正确.

3. **答案**:C

解析:物体受到重力的作用,与物体的运动状态无关,故 A 错误;重力的方向总是竖直向下,不一定指向地心,故 B 错误;赤道上重力加速度最小,因此地面上的物体在赤道上受的重力最小,故 C 正确;物体挂在弹簧测力计下处于平衡状态时,弹簧测力计的示数才等于物体的重力,故 D 错误.

4. **答案**:C

解析:当木块受力 F_1、F_2 及摩擦力的作用而处于平衡状态时,由平衡条件可知木块所受的摩擦力的大小为 8 N,方向向左.可知最大静摩擦力 $F_{fmax}\geq 8$ N.当撤去力 F_1 后,$F_2=2\text{ N}<F_{fmax}$,木块仍处于静止状态,由平衡条件可知木块所受的静摩擦力大小和方向发生突变,且与作用在木块上的力 F_2 等大反向,选项 C 正确.

5. **答案**:C

解析:一般来讲轻质杆对物体的弹力不一定沿着杆的方向,选项 A 中小球只受重力和杆的弹力作用且处于静止状态,由二力平衡可得小球受到的弹力应竖直向上,故 A 错误;选项 B 中因为绳竖直向上,如果左边的绳有拉力的话,竖直向上的那根绳就会发生倾斜,所以左边的绳没有拉力,故 B 错误;对于球与面接触的弹力方向,过接触点垂直于接触面(即在接触点与球心的连线上),即 D 中大半圆对小球的支持力 F_{N2} 应是沿着过小球与圆弧接触点的半径,且指向圆心的弹力,故 D 错误;球与球相接触的弹力方向,垂直于过接触点的公切面(即在两球心的连线上),而指向受力物体,综上可知 C 正确.

6. **答案**:D

解析:用假设法分析:甲图中,假设 A 受摩擦力,与 A 做匀速运动在水平方向所受合力为零不符,所以 A 不受摩擦力;乙图中,假设 A 不受摩擦力,A 将相对 B 沿斜面向下运动,则知 A 受沿 F 方向的摩擦力.故选项 D 正确.

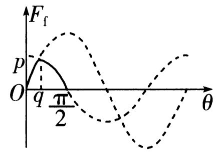
7. **答案**:C

解析:在此过程中,压在下面弹簧上的压力由$(m_1+m_2)g$减小到m_2g,即减少了m_1g,根据胡克定律可断定下面弹簧的长度增长了$\Delta l=\frac{m_1g}{k_2}$,即下面木块移动的距离为$\frac{m_1g}{k_2}$,故选项C正确.

8. **答案**:A

解析:物体向右减速过程中,受滑动摩擦力作用,方向水平向左,$F_f'=\mu mg=2\ \text{N}$,物体速度减为零后,因$F<\mu mg$,物体将保持静止,此时$F_f''=F=1\ \text{N}$,方向水平向右,故A正确.

9. **答案**:D



解析:半球体在平板上恰好开始滑动的临界条件是:$mg\sin\theta=\mu mg\cos\theta$,故有:$\mu=\tan\theta$,解得:$\theta=\frac{\pi}{6}$,即$q=\frac{\pi}{6}$,故C错误;$\theta$在$0\sim\frac{\pi}{6}$之间时,$F_f$是静摩擦力,大小为$mg\sin\theta$;$\theta$在$\frac{\pi}{6}\sim\frac{\pi}{2}$之间时,$F_f$是滑动摩擦力,大小为$\mu mg\cos\theta$;综合以上分析得其$F_f$与$\theta$关系如图中实线所示,故A、B错误;当$\theta=\frac{\pi}{6}$时,$F_f=mg\sin\frac{\pi}{6}=\frac{mg}{2}$,即$p=\frac{mg}{2}$,故D正确.

10. **答案**:C

解析:当木板倾角为30°时,物块受到的是静摩擦力,其大小等于$mg\sin\theta$. 当木板倾角是45°时,物块受到的是滑动摩擦力,其大小等于$\mu mg\cos 45°$. 由题意可得$\mu mg\cos 45°=mg\sin 30°$. 解得$\mu=\frac{\sqrt{2}}{2}$,故选项C正确.

第二讲　力的合成与分解

[章节练习]

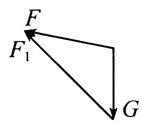
1. **答案**:C

解析:当拉力水平时,物块做匀速运动,则$F=\mu mg$,当拉力方向与水平方向的夹角为60°时,物块也刚好做匀速运动,则$F\cos 60°=\mu(mg-F\sin 60°)$,联立解得$\mu=\frac{\sqrt{3}}{3}$,故A、B、D项错误,C项正确.

2. **答案**:A

解析:F_1和F_2在L上的分力之和等价于F_1、F_2的合力在L上的分力,而F_1和F_2的合力要在L上的分力最大,就应该取这个合力本身的方向,故A正确.

3. **答案**:A



解析:因为直升机沿虚线方向斜向下减速飞行,故合力沿虚线向上,直升机受到竖直向下的重力以及空气作用力两个力,要想合力沿虚线向上,则根据矢量三角形可得空气对其作用力可能为F_1,如图所示,故选项A正确.

4. **答案**:D

解析:设发射弹丸瞬间两橡皮条间的夹角为 2θ,则 $\sin\theta=\frac{\frac{1}{2}L}{2L}=\frac{1}{4}$,$\cos\theta=\sqrt{1-\sin^2\theta}=\frac{\sqrt{15}}{4}$. 发射过程中裹片对弹丸的最大作用力为 $F_{合}=2F\cos\theta$,$F=kx=kL$,故 $F_{合}=2F\times\frac{\sqrt{15}}{4}=\frac{\sqrt{15}}{2}kL$,故 D 正确.

第三讲　受力分析　共点力的平衡

[章节练习]

1. **答案**:BD

解析:只要物块 a 质量不变,物块 b 保持静止,则连接 a 和 b 的细绳的张力就保持不变,细绳 OO' 的张力也就不变,选项 A、C 错误;对物块 b 进行受力分析,物块 b 受到细绳的拉力(不变)、竖直向下的重力(不变)、外力 F、桌面的支持力和摩擦力. 若 F 方向不变,大小在一定范围内变化,则物块 b 受到的支持力和物块 b 与桌面间的摩擦力也在一定范围内变化,选项 B、D 正确.

2. **答案**:B

解析:滑块 B 刚好不下滑,根据平衡条件得 $m_Bg=\mu_1F$;滑块 A 恰好不滑动,则滑块 A 与地面之间的摩擦力等于最大静摩擦力,把 A、B 看成一个整体,根据平衡条件得 $F=\mu_2(m_A+m_B)g$,解得 $\frac{m_A}{m_B}=\frac{1-\mu_1\mu_2}{\mu_1\mu_2}$. 选项 B 正确.

3. **答案**:C

解析:物块在斜面上处于静止状态,先对物块进行受力分析,确定其运动趋势,列平衡方程得 F_f. 物块受与斜面平行的外力 F 作用,而在斜面上静止,此时摩擦力的大小和方向将随 F 的变化而变化. 设斜面倾角为 θ,由平衡条件 $F_1-mg\sin\theta-F_{fmax}=0$,$F_2-mg\sin\theta+F_{fmax}=0$,解得 $F_{fmax}=\frac{F_1-F_2}{2}$,故选项 C 正确.

4. **答案**:ABC

解析:由题图可知,设 $ab=L$,$cd=2L$,角 $\angle adc=\theta$,由几何关系可得:$2L=L+2L\cos\theta$,解得:$\theta=60°$;假设 ab 之间的弹簧是伸长的,弹簧的原长为 $L_{原}$,由题意可得:$k(2L-L_{原})=2k(L-L_{原})$,则 $L_{原}=0$,与题意矛盾,即 ab 之间的弹簧一定是压缩的,选项 A 正确;b 对 a 的弹力大小等于 c 对 a 的弹力大小,都设为 F,对 a 由物体的平衡条件可得:$F=f$;对 b 由物体的平衡条件可得:b 受到的摩擦力大小为 f,选项 B 正确;c 受到的摩擦力大小为 $f_c=\sqrt{(2F-F\cos60°)^2+(F\sin60°)^2}=\sqrt{3}f$,同理可得:$d$ 受到的摩擦力大小为 $\sqrt{3}f$,选项 C 正确,选项 D 错误.

5. **答案**:C

解析:对小球 B 由物体的平衡条件可得:弹簧弹力大小 mg,选项 B 错误;小球 A、B 受到的拉力 T_{OA} 与 T_{OB} 相等,且 $T_{OA}=T_{OB}=\sqrt{2}mg$,选项 A 错误;光滑半圆柱体对 A 球支持力的大小为 $\sqrt{2}mg$,选项 D 错误;$2T_{OA}\cos 30^\circ=m_Ag$,解得:$A$ 球质量为 $\sqrt{6}m$,选项 C 正确.

6. **答案**:BC

解析:设 $m_A=3m_B=3m$,由于滑轮不改变力的大小,弹簧的弹力的大小为 $F=mg$,选项 A 错误;可求得:物体 A 对斜面的压力大小为 $N_A=m_Ag\cos\theta$,θ 减小,$\cos\theta$ 增大,物体 A 对斜面的压力将增大,选项 B 正确;$m_Ag\sin 30^\circ=\frac{3}{2}m_Bg>m_Bg$,对物体 A 由平衡条件可得:$m_Ag\sin\theta=F+f_A$,θ 减小,$\sin\theta$ 减小,物体 A 受到的静摩擦力将减小,选项 C 正确;物体 A 不能被拉动,选项 D 错误.

7. **答案**:B

解析:设定滑轮到球心 O 的距离为 h,细绳对两个小球的拉力大小都为 F,利用相似三角形知识可得:

$\frac{m_1g}{h}=\frac{N_1}{R}=\frac{F}{L_1}$,$\frac{m_2g}{h}=\frac{N_2}{R}=\frac{F}{L_2}$,可得:$\frac{m_1}{m_2}=\frac{L_2}{L_1}=\frac{25}{24}$,$\frac{N_1}{N_2}=\frac{L_2}{L_1}=\frac{25}{24}$,选项 B 正确.

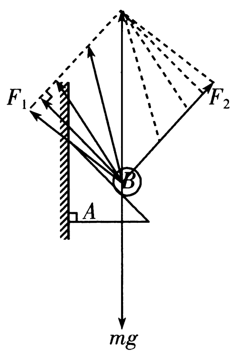
8. **答案**:ACD

解析:对 A 受力分析,根据矢量三角形可知,N_{AB}逐渐变大,F 先变小后变大;对 B 受力分析,正交分解,列平衡方程可知,$N_{地}$、$f_{地}$ 均随 N_{AB}变大而变大,B 错误,A、C、D 正确.

9. **答案**:C

解析:把 A 和 B 看成整体,由物体的平衡可得:$F_3=(m_A+m_B)g$,把 A、B 和 C 看成整体,由物体的平衡可得:$F_3'=(m_A+m_B+m_C)g$,$F_3'>F_3$,即 F_3 增大;设 A 和 B 的圆心的连线和竖直方向的夹角为 θ,B 上未加一物体 C 时,对 B 由物体的平衡和牛顿第三定律可得:$F_2\cos\theta=m_Bg$,$F_2\sin\theta=F_1=m_Bg\tan\theta$,$B$ 上加一物体 C 时,对 B 由物体的平衡和牛顿第三定律可得:$F_2'\cos\theta=(m_B+m_C)g$,$F_2'\sin\theta=F_1'=(m_B+m_C)g\tan\theta$,$F_2'>F_2$,$F_1'>F_1$,即 F_1 增大,F_2 增大,选项 C 正确.

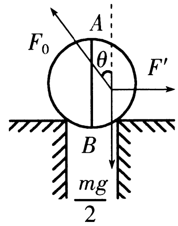
10. **答案**:D



解析:以 B 为研究对象,对其进行受力分析如图所示:由图可知,当 F_1 与斜面平行时,即与 F_2 的方向垂直时最小,所以绳子的拉力先减小后增大,故 A 错误;由图可知,轻绳上端点沿竖直墙缓缓向上移动时,F_1 沿竖直方向的分力增大,沿水平方向的分力减小.以 A 与 B 组成的整体为研究对象,整体受到重力、墙的弹力和摩擦力以及绳子的拉力,由于绳子的拉力沿竖直方向向上的分力增大,所以 A 受到的向上的摩擦力将减小,故 B 错误;由于绳子的拉力沿水平方向的分力减小,所以 A 受到的弹力也减小,故 D 正确;以 A 为研究对象,A 受到重力、墙壁的

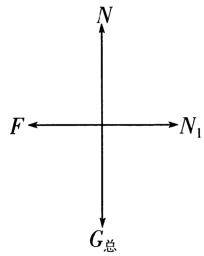
弹力、摩擦力以及 B 对 A 斜向下的压力,A 处于平衡状态,竖直方向的合外力等于 0,所以摩擦力的大小等于 A 的重力与 B 对 A 的压力向下的分力的和,不可能等于 0,故 C 错误.

11. **答案**:A



解析:设两半球的总质量为 m,当球以 AB 沿水平方向放置,可知 $F=\frac{1}{2}mg$;当球以 AB 沿竖直方向放置,以两半球为整体,隔离左半球以半球进行受力分析如图所示,可得 $F'=\frac{mg}{2}\cdot\tan\theta$,根据支架间的距离为 AB 的一半,可得:$\theta=30°$,则 $\frac{F}{F'}=\frac{1}{\tan\theta}=\sqrt{3}$,则 A 正确.

12. **答案**:D

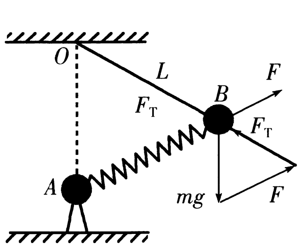


解析:先以 A 为研究对象,分析受力情况:重力、挡板的弹力和斜面的支持力三个力,B 受到重力、A 的压力、地面的支持力和推力 F 四个力,故 A 错误;当 B 向左移动时,B 对 A 的支持力和挡板对 A 的弹力方向均不变,根据平衡条件得知,这两个力大小保持不变,则 A 对 B 的压力也保持不变. 对整体受力分析如图所示,由平衡条件得知,$F=N_1$,挡板对 A 的弹力 N_1 不变,则推力 F 不变. 桌面对整体的支持力 $N=G_总$,保持不变. 则 B 对桌面的压力不变,故 B、C 错误,D 正确.

13. **答案**:B

解析:轻绳绕过滑轮,绳上张力大小处处相等,则易知滑轮两侧绳子与竖直方向夹角相等,设为 θ,设滑轮左侧绳长为 x,右侧绳长为 y,总绳长 $x+y=l$. 两环 A、B 水平距离为 d,则有 $d=x\sin\theta+y\sin\theta=l\sin\theta$,$\sin\theta=\frac{d}{l}$,当环 A 向下移动少许,d 不变,绳长不变,θ 不变,而 $2F\cos\theta=mg$,可知绳上拉力 F 不变. 选环 B 为研究对象,由 $F_f=F\sin\theta$,知环 B 所受摩擦力不变,故 A 错误,B 正确;环 B 向右移动少许,d 变大,绳长不变,θ 增大,可知绳上拉力变大. 选环 A 为研究对象,由 $F_N=F\sin\theta$,知环 A 所受杆的弹力变大,故 C、D 错误.

14. **答案**:BC



解析:小球 B 受重力 mg、绳子拉力 F_T 和弹簧弹力 F 三个力作用而平衡,平移 F_T 与 F、mg 构成矢量三角形如图所示,由图可以看出,力的矢量三角形总是与几何三角形 OAB 相似,因此有 $\frac{mg}{OA}=\frac{F_T}{L}=\frac{F}{AB}$,其中 OA、L 保持不变,因此绳子的拉力 F_T 大小保持不变,故选项 A 错误,选项 B 正确;当弹簧的劲度系数 k 增大时,弹簧的压缩量减小,A、B 间距离增大,因此对应的力 F 增大,故选项 C 正确,选项 D 错误.

15. **答案**:AB

解析:开始时弹簧处于压缩状态,加力 F 后,A 未运动,弹簧长度不变,则弹簧对挡板的作用力不变,故 A 正确;隔离物块 A 进行受力分析,若初始时 A 受 B 的摩擦力沿斜面向上或为零,加推力 F 后,静摩擦力沿斜面向上增大;若初始时 A 受 B 的摩擦力沿斜面向下,加推力 F 后,静摩擦力沿斜面向下减小,或方向变为沿斜面向上,大小可能减小也可能增大,故 C 错误;对 A、B、挡板和弹簧整体受力分析,$F_N = M_{总}g + F_{竖直}$,$F_{水平} = F_f$,B 对地面的压力增大,水平面对 B 的作用力多了向左的摩擦力,故 B 正确,D 错误.

16. **答案**:BC

解析:把 a 和 b 看成整体,当 F 的方向和 Oa 的方向垂直时,F 有最小值 $F_{min} = 2mg\sin 30° = mg$,故选项 D 错误;力 F 的值可能大于 mg,故选项 C 正确;对 a 分析可得,当 ab 的方向和 Oa 的方向垂直时,a、b 间细绳上的张力有最小值$\frac{mg}{2}$,故 a、b 间细绳上的张力可能减小,故选项 B 正确;Oa 绳的拉力可能减小,弹性绳的长度可能减小,故选项 A 错误.

必修 1　第三章　牛顿运动定律

第一讲　牛顿第一定律、牛顿第三定律

［**章节练习**］

1. **答案**:B

解析:由于行李箱随传送带一起匀速运动,因此行李箱处于平衡状态,所受合力为零,又因为甲上的行李箱随水平传送带匀速运动,故不受摩擦力作用,甲上的行李箱受的支持力与重力是一对平衡力,A、D 均错误;乙上的行李箱随倾斜传送带向上匀速运动,一定受到沿传送带向上的摩擦力,而行李箱受到的支持力与重力垂直于带面向下的分力平衡,故 B 正确,C 错误.

2. **答案**:C

解析:绳拉牛的力和牛拉绳的力是作用力与反作用力,大小相等,方向相反,故 A、B 错误;由于没有拉动牛,可知绳拉牛的力与地面对牛的摩擦力是一对平衡力,故 C 正确,故 D 错误.

3. **答案**:C

解析:物体对地面的压力和地面对物体的支持力是一对作用力与反作用力,是同时产生的,所以选项 A 错误;物体对地面的压力和地面对物体的支持力分别作用在地面和物体上,是一对作用力与反作用力,不是平衡力,选项 B 错误;人对车的作用力与车对人的作用力是一对作用力与反作用力,大小相等,选项 C 正确;物体对地面的摩擦力与地面对物体的摩擦力是一对作用力与反作用力,大小相等,选项 D 错误.

4. **答案**:B

解析:因小车表面光滑,因此小球在水平方向上不会受到外力作用,原来两小球与小车有相同的速度,当车突然停止时,由于惯性,两小球的速度将不变,所以不会相碰.

5. **答案**:D

解析:汽车对拖车的拉力与拖车对汽车的拉力是一对相互作用力,而一对相互作用力总是大小相等,A、C 错误;因一对相互作用力总是同时产生,B 错误;拖车加速前进是因为汽车对拖车的拉力大于地面对拖车的摩擦阻力,汽车加速前进是因为地面对汽车向前的作用力大于拖车对它的拉力,D 正确.

6. **答案**:B

解析:伽利略设想物体下落的速度与时间成正比,因为当时无法测量物体的瞬时速度,所以伽利略通过数学推导证明如果速度与时间成正比,那么位移与时间的平方成正比;由于当时用滴水法计时,无法记录自由落体的较短时间,伽利略设计了让铜球沿阻力很小的斜面滚下,来"冲淡"重力的作用效果,而小球在斜面上运动的加速度要比它竖直下落的加速度小得多,所用时间长得多,所以容易测量. 伽利略做了上百次实验,并通过抽象思维在实验结果上做了合理外推. 故 A 错误,B 正确. 完全没有摩擦阻力的斜面是实际不存在的,故 C 错误. 伽利略用抽象思维、数学推导和科学实验相结合的方法得到物体的运动不需要力来维持,故 D 错误.

7. **答案**:ACD

解析:人从小船的一端走向另一端时,要受到船给人的摩擦力,方向与人行走的方向相同,根据牛顿第三定律知,人对小船也有一个摩擦力,其方向与人行走的方向相反,因此船将在这个摩擦力的作用下改变运动状态,向人行走的相反方向运动,所以选项 A 正确;汽车行驶时,通过排气筒向后排出燃气,虽然燃气对排气筒有反作用力,但毕竟很小,并不是汽车动力的来源,因此选项 B 错误;农业灌溉用的自动喷水器,当水从弯管的喷嘴喷射出来时,弯管在水的反作用力的推动下会自动旋转,大大增加了喷水的面积,选项 C 正确;乌贼通过身体侧面的孔把水吸入鳃腔,然后用力把水经过小孔压出体外,根据牛顿第三定律可知,乌贼获得了方向相反的反作用力,从而向排水的相反方向游去,选项 D 正确.

8. **答案**:AD

解析:对 A、B、C 整体而言,地面对 B、C 的摩擦力方向皆向左. 隔离 B,由 B 匀速运动的受力条件可知,A 对 B 的摩擦力方向向右,则由牛顿第三定律可知 B 对 A 的摩擦力方向向左;同理可判断 C 对 A 的摩擦力方向向右.

第二讲　牛顿第二定律、两类动力学问题

［章节练习］

1. **答案**：BC

解析：根据平衡条件知，其余力的合力与撤去的两个力的合力大小相等、方向相反，则撤去大小分别为 15 N和 10 N 的两个力后，物体合力的大小范围为 5 N≤$F_{合}$≤25 N，根据牛顿第二定律 $a=\frac{F}{m}$得：物体的加速度范围为 2.5 m/s^2≤a≤12.5 m/s^2. 若物体原来做匀速直线运动，若撤去的两个力的合力方向与速度方向不在同一直线上，物体做匀变速曲线运动，故 A 错误；由于撤去两个力后其余力保持不变，则物体所受的合力不变，一定做匀变速运动，加速度大小可能等于 10 m/s^2，故 B 正确；若物体原来做匀速直线运动，若撤去的两个力的合力方向与速度方向相同，物体做匀减速直线运动，加速度大小可能是 2.5 m/s^2，故 C 正确. 由于撤去两个力后其余力保持不变，在恒力作用下物体不可能做匀速圆周运动，故 D 错误.

2. **答案**：C

解析：由题图线可得，小球第一次下落的加速度大小为 $a_1=\frac{\Delta v}{\Delta t}=8\ \text{m/s}^2$，对小球由牛顿第二定律有 $mg-f=ma_1$，解得 $f=0.2$ N，A 错误；小球上升时，对小球根据牛顿第二定律有 $mg+f=ma_2$，解得 $a_2=12\ \text{m/s}^2$，B 错误；小球第一次与地面碰撞后的速率为 $v_1=\frac{3}{4}v=3$ m/s，第一次上升的高度为 $h=\frac{v_1^2}{2a_2}=0.375$ m，C 正确；小球第二次下落的时间为 $t=\sqrt{\frac{2h}{a_1}}=\frac{\sqrt{6}}{8}$ s，D 错误.

3. **答案**：C

解析：在抽出木板的瞬时，物块 1、2 与刚性轻杆接触处的形变立即消失，受到的合力均等于各自重力，所以由牛顿第二定律知 $a_1=a_2=g$；而物块 3、4 间的轻弹簧的形变还来不及改变，此时弹簧对物块 3 向上的弹力大小和对物块 4 向下的弹力大小仍为 mg，因此物块 3 满足 $mg=F$，$a_3=0$；由牛顿第二定律得，物块 4 满足 $a_4=\frac{F+Mg}{M}=\frac{(m+M)g}{M}$，所以 C 对.

4. **答案**：BD

解析：由于两球由同种材料制成，甲球的质量大于乙球的质量，因此甲球的体积大于乙球的体积，甲球的半径大于乙球的半径，设球的半径为 r，根据牛顿第二定律，下落过程中 $mg-kr=ma$，$a=g-\frac{kr}{\rho\times\frac{4}{3}\pi r^3}=g-\frac{3k}{4\pi\rho r^2}$，可知，球下落过程做匀变速直线运动，且下落过程中半径大的球下落的加速度大，因此甲球下落的加速度大，由 $h=\frac{1}{2}at^2$ 可知，下落相同的距离，甲球所用的时间短，A、C 项错误；由 $v^2=2ah$ 可知，甲

球末速度的大小大于乙球末速度的大小,B 项正确;由于甲球受到的阻力大,因此克服阻力做的功多,D 项正确.

5. **答案**:AC

解析:剪断细线前,把 a、b、c 看成整体,细线上的拉力为 $F_T=3mg$. 因在剪断瞬间,弹簧未发生突变,因此 a、b、c 之间的作用力与剪断细线之前相同;则将细线剪断瞬间,对 a 隔离进行受力分析,由牛顿第二定律得 $3mg=ma_1$,解得 $a_1=3g$,A 正确,B 错误;剪断细线前,轻弹簧 S_1 的弹力 $F_{T1}=2mg$,轻弹簧 S_2 的弹力 $F_{T2}=mg$,在剪断细线的瞬间,弹簧弹力不变,由胡克定律知 $2mg=k\Delta l_1$,$mg=k\Delta l_2$,所以 $\Delta l_1=2\Delta l_2$,C 正确,D 错误.

6. **答案**:AC

解析:当 F 较小时,木板和滑块一起运动,对木板和滑块整体由牛顿第二定律可得:$F=(M+m)a_1$,进一步可得:$a_1=\frac{1}{M+m}F$,则:$\frac{1}{M+m}=\frac{2}{6}=\frac{1}{3}$;当 F 较大时,木板和滑块发生相对滑动,对木板由牛顿第二定律可得:$F-\mu mg=Ma_2$,进一步可得:$a_2=\frac{1}{M}F-\frac{\mu mg}{M}$,$\frac{1}{M}=1$,$\mu mg=4\ \text{N}$,解得:$M=1\ \text{kg}$,$m=2\ \text{kg}$,$\mu=0.2$,选项 A 正确,选项 B 错误;当水平拉力 $F=7\ \text{N}>6\ \text{N}$ 时,对木板由牛顿第二定律可得:$F-\mu mg=Ma_3$,解得:$a_3=3\ \text{m/s}^2$,选项 C 正确;当水平拉力增大时,小滑块的加速度先增大后不变,选项 D 错误.

7. **答案**:C

解析:对 A、B 整体由牛顿第二定律可得:$(m_A+m_B)g\sin\alpha=(m_A+m_B)a$

解得:$a=g\sin\alpha$

不妨假设 A 对 B 有静摩擦力,且摩擦力平行于 A、B 的接触面向上,对 B 由牛顿第二定律可得:

$N_{AB}\sin\beta-f_{AB}\cos\beta+m_Bg\sin\alpha=m_Ba$

$N_{AB}\cos\beta+f_{AB}\sin\beta=m_Bg\cos\alpha$

解得:$N_{AB}=m_Bg\cos\alpha\cos\beta$

$f_{AB}=m_Bg\cos\alpha\sin\beta$,假设成立,选项 C 正确.

8. **答案**:A

解析:A、B 匀速运动过程,有 $m_Ag=\mu m_Bg$

A、B 互相交换后,有 $m_Bg-\mu m_Ag=(m_B+m_A)a$

解得 $a=(1-\mu)g$,选项 A 正确.

9. **答案**:D

解析:在速率-时间图象中,斜率的绝对值表示物体运动的加速度大小. 对所受空气阻力可忽略的物体,其只受重力作用,加速度不变,图线为图中虚线. 不可忽略空气阻力的物体,其所受空气阻力大小与速率成正比,即 $f_{阻}=kv$ 为变力,图线为图中实线. 对受空气阻力作用的物体分析知,其上升过程中速率 v 越来

越小,则其所受阻力$f_{阻}$越来越小,合力越来越小,加速度$a_{上}=\frac{mg+f_{阻}}{m}$越来越小,当其到达最高点时速率为零,加速度等于重力加速度g. 其从最高点下落过程中,速率v越来越大,阻力$f_{阻}$越来越大,合力越来越小,加速度$a_{下}=\frac{mg-f_{阻}}{m}$越来越小,若其在落地前阻力已经等于重力,则其最后阶段做匀速运动,D正确.

10. **答案**:9 m

解析:F_A、F_B的大小虽随时间而变化,但$F_{合}=F_A+F_B=18$ N不变,故开始一段时间内A、B共同做匀加速运动,A、B分离前,对整体有:$F_A+F_B=(m_A+m_B)a$ ①

设A、B间的弹力为F_{AB},对B有:$F_B+F_{AB}=m_Ba$ ②

由于加速度a恒定,则随着t的增大,F_B增大,弹力F_{AB}逐渐减小,当A、B恰好分离时,A、B间的弹力为零,即$F_{AB}=0$ ③

将$F_A=(12-2t)$ N,$F_B=(6+2t)$ N代入①得:$a=2\ \text{m/s}^2$

结合②③得:$t=3$ s

A、B相互脱离前共同位移为:$x=\frac{1}{2}at^2$

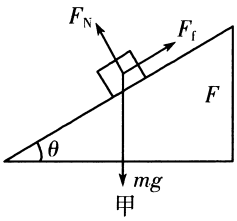
代入数值得:$x=9$ m.

11. **答案**:(1)$\frac{\sqrt{3}}{6}$　(2)$\frac{76\sqrt{3}}{5}$ N或$\frac{4\sqrt{3}}{7}$ N

解析:(1)以物块为研究对象受力分析如图甲所示,根据牛顿第二定律可得:

$mg\sin 30°-\mu mg\cos 30°=ma$

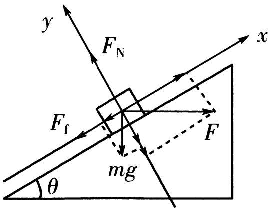
解得:$\mu=\frac{\sqrt{3}}{6}$;



甲

(2)使滑块沿斜面做匀加速直线运动,加速度有向上和向下两种可能.

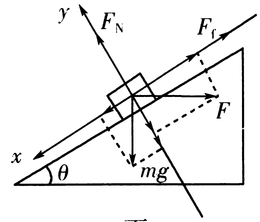
当加速度沿斜面向上时,受力分析如图乙所示,则:



乙

则:$F\cos 30°-mg\sin 30°-\mu(F\sin 30°+mg\cos 30°)=ma$

根据题意可得:$a_1=2\ \text{m/s}^2$



丙

代入数据得：$F=\frac{76\sqrt{3}}{5}$ N

当加速度沿斜面向下时，受力分析如图丙所示，则：

$mg\sin 30°-F\cos 30°-\mu(F\sin 30°+mg\cos 30°)=ma_1$

代入数据得：$F=\frac{4\sqrt{3}}{7}$ N.

12. **答案**：(1)$\frac{\sqrt{3}}{3}$ (2)$\theta=60°$ $\frac{5\sqrt{3}}{2}$ m

解析：(1)当 $\theta=30°$时，小物块恰好能沿着木板匀速下滑，则 $mg\sin\theta=\mu mg\cos\theta$

联立解得：$\mu=\frac{\sqrt{3}}{3}$；

(2)当 θ 变化时，设沿斜面向上为正方向，物块的加速度为 a，则

$-mg\sin\theta-\mu mg\cos\theta=ma$

由 $0-v_0^2=2ax$ 得 $x=\frac{v_0^2}{2g(\sin\theta+\mu\cos\theta)}$

令 $\cos\alpha=\frac{1}{\sqrt{1+\mu^2}}$，$\sin\alpha=\frac{\mu}{\sqrt{1+\mu^2}}$

即 $\tan\alpha=\mu$，则 $x=\frac{v_0^2}{2g\sqrt{1+\mu^2}\sin(\theta+\alpha)}$

当 $\theta+\alpha=90°$时 x 最小，即 $\theta=60°$

所以 x 最小值为 $x_{\min}=\frac{v_0^2}{2g(\sin 60°+\mu\cos 60°)}=\frac{\sqrt{3}v_0^2}{4g}=\frac{5\sqrt{3}}{2}$ m.

13. **答案**：$F_{\min}=36$ N $F_{\max}=72$ N

解析：从受力角度看，两物块分离的条件是两物块间的正压力为零. 从运动学角度看，一起运动的两物块恰好分离时，两物块在沿斜面方向上的加速度和速度相等.

设刚开始时弹簧压缩量为 x_0，则：$(m_1+m_2)g\sin\theta=kx_0$ ①

因为在前 0.2 s 时间内，F 为变力，0.2 s 以后，F 为恒力，所以在 0.2 s 时，P 对 Q 的作用力为零，设此时弹簧压缩量为 x_1，由牛顿第二定律知：$kx_1-m_1g\sin\theta=m_1a$ ②

前 0.2 s 时间内 P、Q 向上运动的距离为 $x_0-x_1=\frac{1}{2}at^2$ ③

联立①②③式解得 $a=3\ \text{m/s}^2$

P、Q 刚开始运动时拉力 F 最小，此时有：$F_{\min}=(m_1+m_2)a=36$ N

当 P、Q 分离时拉力最大，此时有：$F_{\max}-m_2g\sin\theta=m_2a$

$F_{\max}=m_2(g\sin\theta+a)=72$ N.

第三讲　牛顿运动定律的综合应用

［章节练习］

1. **答案**:C

解析:设屋檐的底角为 θ,底边长为 $2L$(不变). 雨滴做初速度为零的匀加速直线运动,根据牛顿第二定律得加速度 $a=\frac{mg\sin\theta}{m}=g\sin\theta$,位移大小 $x=\frac{1}{2}at^2$,而 $x=\frac{L}{\cos\theta}$,$2\sin\theta\cos\theta=\sin 2\theta$,联立以上各式得 $t=\sqrt{\frac{4L}{g\sin 2\theta}}$. 当 $\theta=45°$时,$\sin 2\theta=1$ 为最大值,时间 t 最短,故选项 C 正确.

2. **答案**:ACD

解析:由题图乙可以求出物块上升过程中的加速度为 $a_1=\frac{v_0}{t_1}$,下降过程中的加速度为 $a_2=\frac{v_1}{t_1}$. 物块在上升和下降过程中,由牛顿第二定律得 $mg\sin\theta+f=ma_1$,$mg\sin\theta-f=ma_2$,由以上各式可求得 $\sin\theta=\frac{v_0+v_1}{2t_1g}$,滑动摩擦力 $f=\frac{m(v_0-v_1)}{2t_1}$,而 $f=\mu F_N=\mu mg\cos\theta$,由以上分析可知,选项 A、C 正确. 由 $v-t$ 图线中横轴上方的面积可求出物块沿斜面向上滑行的最大距离,可以求出物块沿斜面向上滑行的最大高度,选项 D 正确.

3. **答案**:BC

解析:刚撤去外力 F 时,由牛顿第二定律知对 A、B 整体有 $F=2ma_1$,对物体 A 有 $F_N-mg=ma_1$,联立得 $F_N=\frac{F}{2}+mg$,A 项错误;当弹簧弹力大小等于 F 时,有 $F-2mg=2ma_2$,$F_N-mg=ma_2$,联立得 $F_N=\frac{F}{2}$,B 正确;当两物体 A、B 的加速度为零时,两者速度最大,则有 $F_N=mg$,C 正确;当弹簧恢复原长时,弹簧不提供弹力,此时两物体恰好分离,A、B 间的相互作用力大小为 0,D 项错误.

4. **答案**:BC

解析:假设绳子拉力为 F_T,根据牛顿第二定律,对甲有,$m_{甲}g-F_T=m_{甲}a$;对乙和丙组成的整体有,$F_T=(m_{乙}+m_{丙})a$,联立解得 $F_T=15\ \text{N}$,$a=2.5\ \text{m/s}^2$,A 错误、B 正确;对滑块丙受力分析,受重力、支持力和静摩擦力作用,根据牛顿第二定律有,$f=m_{丙}a=1\times2.5\ \text{N}=2.5\ \text{N}$,C 正确;绳子的张力为 15 N,由于滑轮两侧绳子垂直,根据平行四边形定则,其对滑轮的作用力为 $15\sqrt{2}$ N,所以 D 错误.

5. **答案**:ABC

解析:若 $v_1<v_2$,且动摩擦因数 $\mu\geq\tan\theta$(θ 为传送带倾角),则物块在传送带上先匀加速再做匀速运动,A 项正确;若 $v_1<v_2$,且 $\mu<\tan\theta$,物块先向上做匀减速运动,再向下做匀加速运动,D 项错误;若 $v_1>v_2$,且 $\mu\geq\tan\theta$,则物块先向上做匀减速运动,再随传送带做匀速运动,C 项正确;若 $v_1>v_2$,且 $\mu<\tan\theta$,则物块先向上做加速度大小为 $a_1=g(\sin\theta+\mu\cos\theta)$ 的匀减速运动,直到 $v_1=v_2$ 后再向上做加速度大小为 $a_2=g(\sin\theta-\mu\cos\theta)$ 的匀减速运动,B 项正确.

6. **答案**:D

解析:设 P、Q 的质量分别为 m_1、m_2,Q 受到绳的拉力大小为 F_T,物块与斜面间的动摩擦因数为 μ,根据牛顿第二定律,对整体分析有,$F-(m_1+m_2)g\sin\theta-\mu(m_1+m_2)g\cos\theta=(m_1+m_2)a$;对 Q 分析有,$F_T-m_2g\sin\theta-\mu m_2g\cos\theta=m_2a$,解得 $F_T=\frac{m_2}{m_1+m_2}F$,可见 Q 受到绳的拉力 F_T 与斜面倾角 θ、动摩擦因数 μ 和系统运动状态均无关,仅与两物块质量和 F 有关,选项 D 正确.

7. **答案**:A

解析:设在木板与物块未达到相同速度之前,木板的加速度为 a_1,物块与木板间的动摩擦因数为 μ_1,木板与地面间的动摩擦因数为 μ_2. 对木板应用牛顿第二定律得:

$-\mu_1mg-\mu_2\cdot 2mg=ma_1$ 得

$a_1=-(\mu_1+2\mu_2)g$

设物块与木板达到相同速度之后,木板的加速度为 a_2,对整体有 $-\mu_2\cdot 2mg=2ma_2$

$a_2=-\mu_2g$,可见 $|a_1|>|a_2|$

由 $v-t$ 图象的斜率表示加速度大小可知,图象 A 正确.

8. **答案**:AC

解析:由 $v-t$ 图象中图线与 t 轴围成的面积,可估算出飞机在甲板上滑行的距离约为 105 m,即大约是无阻拦索时的 $\frac{1}{10}$,A 正确;由题图的斜率可知飞机钩住阻拦索后加速度大约保持在 $a=27.1\ \mathrm{m/s^2}>2.5g$,故 C 正确;由 $v-t$ 图象斜率知,飞机与阻拦索作用过程中(0.4~2.5 s 时间内),其 $F_{合}$ 恒定,在此过程中阻拦索两段间的夹角变小,则阻拦索的张力要减小,B 错误;由 $P=Fv$ 知,阻拦索对飞机做功的功率逐渐减小,故 D 错误.

9. **答案**:BD

解析:根据题图图象,经分析可知,在 0~2 s 时间内小滑块和长木板相对静止,它们之间为静摩擦力,对小滑块有 $f_{静}=m_1a$,a 在增加,所以静摩擦力也在线性增大,选项 A 错误;长木板的加速度 a 在 3 s 时突变,所以小滑块在 3 s 时脱离长木板,对长木板在 3 s 时刻前后分别列牛顿第二定律可得:$3k-f=m_2a_{前}=m_2\cdot(2\ \mathrm{m/s^2})$,$3k=m_2a_{后}=m_2\cdot(3\ \mathrm{m/s^2})$,两式联立可得:$f=m_2\cdot(1\ \mathrm{m/s^2})$,所以选项 B 正确;在 0~2 s 时间内,$F=(m_1+m_2)a_1=kt$,所以 $a_1=\frac{kt}{m_1+m_2}$,在 2~3 s 时间内,$F-f=m_2a_2$,所以 $a_1=\frac{kt-\mu m_2g}{m_2}=\frac{kt}{m_2}-\mu g$,根据图象斜率可知 $\frac{k}{m_1+m_2}=\frac{1}{2}$,$\frac{k}{m_2}=1$,解得 $m_1=m_2$,所以选项 C 错误;在 2 s 时刻小滑块与长木板速度相同,在 2~3 s 时间内,小滑块的加速度大小为 $a=\frac{f}{m_1}=\frac{m_2}{m_1}=1\ \mathrm{m/s^2}$,小滑块的速度的变化量为 $\Delta v_1=1\ \mathrm{m/s}$,长木板的速度的变化量为 $\Delta v_2=1.5\ \mathrm{m/s}$,所以在 3 s 时,长木板比小滑块的速度大 0.5 m/s,选项 D 正确.

10. **答案**:(1)2 m/s² 0.5 m/s² (2)1 s (3)2.1 m

解析:(1)物块的加速度大小 $a_m=\mu g=2\ \text{m/s}^2$,小车的加速度大小:$a_M=\dfrac{F-\mu mg}{M}=0.5\ \text{m/s}^2$.

(2)由 $a_m t=v_0+a_M t$,得 $t=1$ s.

(3)在开始 1 s 内小物块的位移:$x_1=\dfrac{1}{2}a_m t^2=1$ m,最大速度:$v=a_m t=2$ m/s.

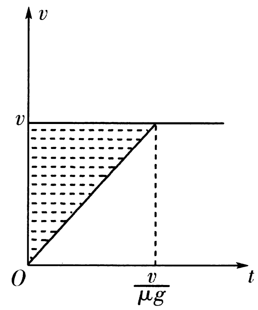
假设在接下来的 0.5 s 物块与小车相对静止,一起做加速运动,则加速度:$a=\dfrac{F}{M+m}=0.8\ \text{m/s}^2$,此时二者之间的摩擦力 $F_f=ma<\mu mg$,因此假设成立,此 0.5 s 内的位移:$x_2=vt'+\dfrac{1}{2}at'^2=1.1$ m,通过的总位移 $x=x_1+x_2=2.1$ m.

11. **答案**:(1)7 s (2)8 m (3)$2\sqrt{10}$ m/s $2\sqrt{10}$ s

解析:(1)物块放到传送带上后先做匀加速运动,若传送带足够长,匀加速运动到与传送带同速后再与传送带一同向前做匀速运动. 物块匀加速的时间 $t_1=\dfrac{v}{a}=\dfrac{v}{\mu g}=4$ s. 物块匀加速的位移 $x_1=\dfrac{1}{2}at_1^2=\dfrac{1}{2}\mu g t_1^2=8$ m. 因为 8 m<20 m,所以小物块同传送带一同做匀速运动,物块匀速运动的时间 $t_2=\dfrac{L-x_1}{v}=\dfrac{20-8}{4}$ s $=3$ s,所以物块到达传送带右端的时间为 $t=t_1+t_2=7$ s.

(2)解法一:只有在匀加速阶段二者才会发生相对运动,传送带在 4 s 内的位移为 $x_2=vt_1=16$ m,物块相对于传送带的相对位移大小 $\Delta x=x_2-x_1=8$ m.

解法二:作出 $v-t$ 图象如图所示,阴影部分为相对位移大小,易得 $\Delta x=\dfrac{v^2}{2\mu g}=8$ m.



(3)当物块一直做匀加速运动时,到达传送带另一端所用时间最短,则 $L=\dfrac{1}{2}at^2=\dfrac{1}{2}\mu g t^2$,解得 $t=\sqrt{\dfrac{2L}{\mu g}}=2\sqrt{10}$ s. 当物块运动到最右端恰好与传送带速度相等时,此时传送带速度最小,所以传送带最小速度为 $v=\sqrt{2aL}=\sqrt{2\mu g L}=2\sqrt{10}$ m/s. 需要注意的是,如果传送带的速度大于 $2\sqrt{10}$ m/s,物块始终做匀加速运动,物块运动的时间不变.

12. **答案**:(1)5 m/s (2)30 m,方向沿斜面向下

解析:(1)分析可知物体在前 2 s 内沿斜面向下做初速度为零的匀加速直线运动,由牛顿第二定律可得

$mg\sin\theta-F_1-\mu mg\cos\theta=ma_1$

$v_1=a_1t_1$

代入数据可得

$v_1=5$ m/s;

(2)设物体在前 2 s 内发生的位移为 x_1,则

$x_1=\frac{1}{2}a_1t_1^2=5$ m.

当拉力为 $F_2=4.5$ N 时,由牛顿第二定律可得

$mg\sin\theta-\mu mg\cos\theta-F_2=ma_2$

代入数据可得 $a_2=-0.5\ \text{m/s}^2$

物体经过 t_2 时间速度减为零,则

$0=v_1+a_2t_2$

$t_2=10$ s

设 t_2 时间内发生的位移为 x_2,则

$x_2=v_1t_2+\frac{1}{2}a_2t_2^2=25$ m

由于 $mg\sin\theta-\mu mg\cos\theta<F_2<mg\sin\theta+\mu mg\cos\theta$,则物体在剩下 4 s 时间内处于静止状态.

故物体在前 16 s 内发生的位移 $x=x_1+x_2=30$ m,方向沿斜面向下.

13. **答案**:(1)3 m/s² 8 m/s (2)30° $\frac{13\sqrt{3}}{5}$ N

解析:(1)设物块加速度的大小为 a,到达 B 点时速度的大小为 v,由运动学公式得

$L=v_0t+\frac{1}{2}at^2$ ①

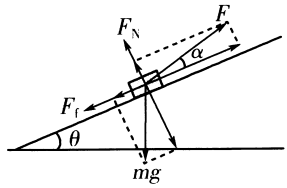
$v=v_0+at$ ②

联立①②式,代入数据得

$a=3\ \text{m/s}^2$ ③

$v=8$ m/s. ④

(2)设物块所受支持力为 F_N,所受摩擦力为 F_f,拉力与斜面的夹角为 α,受力分析如图所示,由牛顿第二定律得



$F\cos\alpha-mg\sin\theta-F_f=ma$ ⑤

$F\sin\alpha+F_N-mg\cos\theta=0$ ⑥

又 $F_f=\mu F_N$ ⑦

联立⑤⑥⑦式得 $F=\frac{mg(\sin\theta+\mu\cos\theta)+ma}{\cos\alpha+\mu\sin\alpha}$ ⑧

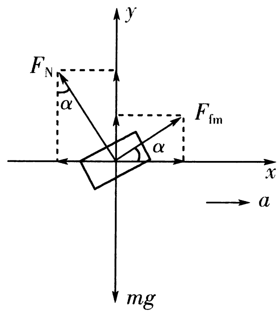
由数学知识得 $\cos\alpha+\frac{\sqrt{3}}{3}\sin\alpha=\frac{2\sqrt{3}}{3}\sin(60°+\alpha)$ ⑨

由⑧⑨式可知对应 F 最小时与斜面间的夹角 $\alpha=30°$ ⑩

联立③⑧⑩式,代入数据得 F 的最小值为 $F_{min}=\frac{13\sqrt{3}}{5}$ N. ⑪

14. **答案**:(1)$\dfrac{(m+M)g(\mu\cos\alpha-\sin\alpha)}{\mu\sin\alpha+\cos\alpha}$ (2)$\dfrac{Mg}{\tan\alpha}$

解析:(1)当滑块与斜面体一起向右加速时,力 F 越大,加速度越大,当 F 最大时,斜面体对滑块的静摩擦力达到最大值 F_{fm},滑块受力如图所示.



设一起加速的最大加速度为 a,对滑块应用牛顿第二定律得:

$F_N\cos\alpha+F_{fm}\sin\alpha=mg$ ①

$F_{fm}\cos\alpha-F_N\sin\alpha=ma$ ②

由题意知 $F_{fm}=\mu F_N$

联立解得 $a=\dfrac{\mu\cos\alpha-\sin\alpha}{\cos\alpha+\mu\sin\alpha}g$

对整体受力分析 $F=(M+m)a$

联立解得 $F=\dfrac{(m+M)g(\mu\cos\alpha-\sin\alpha)}{\mu\sin\alpha+\cos\alpha}$.

(2)要使滑块做自由落体运动,滑块与斜面体之间没有力的作用,滑块的加速度为 g,设此时 M 的加速度为 a_M,则对 M:$F=Ma_M$

当水平向右的力 F 最小时,二者没有相互作用但仍接触,则有 $\dfrac{\frac{1}{2}gt^2}{\frac{1}{2}a_Mt^2}=\tan\alpha$,即 $\dfrac{g}{a_M}=\tan\alpha$,联立解得

$F=\dfrac{Mg}{\tan\alpha}$.

15. **答案**:(1)32 m 0.05 (2)12.5 s

解析:(1)根据 $v-t$ 图象,滑块以初速度 $v_2=6$ m/s 冲上传送带时,在 $t=8$ s 时刻,到达 A 点,所以传送带的长度 $l=\dfrac{1}{2}\times(6+2)\times8$ m $=32$ m

根据图线 a 或者图线 b,滑块的加速度大小为 $a=\dfrac{\Delta v}{\Delta t}=0.5$ m/s^2

根据牛顿第二定律得 $\mu mg=ma$

代入数据解得传送带与滑块之间的动摩擦因数 $\mu=0.05$;

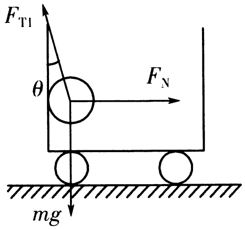
(2)滑块在 0~6 s 和 6~t s 内的位移大小相等,方向相反

$\dfrac{1}{2}\times6\times3$ m $=\dfrac{1}{2}\times(t-6+t-10)\times2$ m

滑块返回 B 点的时间 $t=12.5$ s.

16. **答案**:(1)50 N　22 N　(2)$40\sqrt{2}$ N　0

解析:(1)当汽车以 $a=2\ \mathrm{m/s^2}$ 向右匀减速行驶时,小球受力分析如图所示.



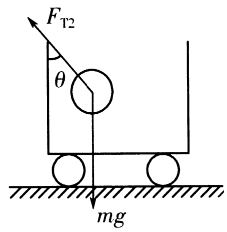
由牛顿第二定律得:

$F_{T1}\cos\theta=mg$,$F_{T1}\sin\theta-F_N=ma$

代入数据得:$F_{T1}=50\ \mathrm{N}$,$F_N=22\ \mathrm{N}$

由牛顿第三定律知,小球对车后壁的压力大小为 22 N.

(2)当汽车向右匀减速行驶时,设车后壁弹力为 0 时(临界条件)的加速度为 a_0,受力分析如图所示.



由牛顿第二定律得:$F_{T2}\sin\theta=ma_0$,$F_{T2}\cos\theta=mg$

代入数据得:$a_0=g\tan\theta=10\times\dfrac{3}{4}\ \mathrm{m/s^2}=7.5\ \mathrm{m/s^2}$

因为 $a=10\ \mathrm{m/s^2}>a_0$

所以小球飞起来,$F_N'=0$

所以,当汽车以 $a'=10\ \mathrm{m/s^2}$ 向右匀减速运动行驶时,由牛顿第二定律得

$F_{T2}\cos\theta'=mg$

$F_{T2}\sin\theta'=ma'$

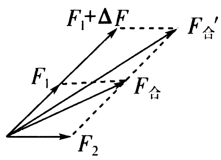
代入数据得 $F_{T2}=40\sqrt{2}$ N.

必修2　第四章　曲线运动　万有引力

第一讲　运动的合成与分解

［章节练习］

1. **答案**:AB



解析:质点受到两个恒力 F_1、F_2 的作用,由静止开始沿两个恒力的合力方向做匀加速直线运动,如图所示,此时运动方向与 $F_合$ 方向相同;当力 F_1 发生变化后,力 F_1 与 F_2 的合力 $F_合'$与原合力 $F_合$ 相比,大小和方向都发生了变化,此时合力 $F_合'$方向不再与速度方向相同,但是 $F_合'$仍为恒力,故此后质点将做匀变速曲线运动,选项 A 正确,选项 C、D 错误;由于合力恒定不变,则质点的加速度也恒定不变,由 $a=\frac{\Delta v}{\Delta t}$可得 $\Delta v=a\Delta t$,即在相等时间内速度变化也必然相等,选项 B 正确.

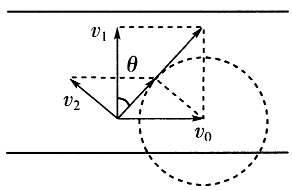
2. **答案**:D

解析:蜡块 R 轨迹为曲线,所受合力不为零,选项 A 错误;合力应指向轨迹的凹侧,若 x 轴方向匀速,则 y 轴方向应减速,选项 B 错误;若 x 轴方向匀减速,则 a_x 指向 x 轴负方向,若 y 轴方向匀加速,则 a_y 指向 y 轴正方向,两个加速度合成,指向左上方,与轨迹不符,选项 C 错误;y 轴方向匀速,x 轴方向匀加速,加速度指向 x 轴正方向,与轨迹一致,选项 D 正确.

3. **答案**:ABD

解析:甲、乙两船在垂直河岸方向上的分速度相同,都为 $v\sin\theta$,根据合运动与分运动具有等时性可知,两船的渡河时间相同,且与河水流速 v_0 无关,故选项 A、B 正确;将船速 v 正交分解,当 $v\cos\theta=v_0$,即船的合速度垂直指向对岸时,船才能到达正对岸,故选项 C 错误;两船到达对岸时,两船之间的距离 $x=x_乙-x_甲=(v\cos\theta+v_0)t-(v_0-v\cos\theta)t=2vt\cos\theta$,与 v_0 无关,故选项 D 正确.

4. **答案**:C



解析:当 v_1 与河岸垂直时,甲船渡河时间最短;乙船船头斜向上游开去,才有可能航程最短,由于甲、乙两只船到达对岸的地点相同(此地点并不在河对岸),可见乙船在静水中速度 v_2 比水的流速 v_0 要小,要满足题意,则如图所示. 由图可得:$\frac{t_1}{t_2}=\frac{v_2\sin\theta}{v_1}$①,$\cos\theta=\frac{v_2}{v_0}$②,$\tan\theta=\frac{v_0}{v_1}$③,由②③可得:$\frac{v_2}{v_1}=\sin\theta$,将此式代入①得:$\frac{t_1}{t_2}=\frac{v_2^2}{v_1^2}$,选项 C 正确.

5. **答案**:B

解析:P、Q 用同一根绳连接,则 Q 沿绳子方向的速度与 P 的速度大小相等,则当 $\theta=60°$ 时,$v_Q\cos 60°=v_P$,解得 $\frac{v_P}{v_Q}=\frac{1}{2}$,选项 A 错误;当 $\theta=90°$ 时,即 Q 到达 O 点正下方,垂直 Q 运动方向上的分速度为零,即 $v_P=0$,此时 Q 的速度最大,选项 B 正确,选项 C 错误;当 θ 向 90°增大的过程中 Q 的合力逐渐减小,当 $\theta=90°$ 时,Q 的速度最大,加速度为零,合力为零,选项 D 错误.

6. **答案**:AD

解析:在 $t=0$ 时质点开始受到恒力 F 作用,加速度不变,做匀变速运动,若做匀变速直线运动,则最小速度为零,所以质点受到恒力 F 作用后一定做匀变速曲线运动,选项 A 正确;质点在恒力 F 作用下不可能做圆周运动,选项 B 错误;设恒力 F 与初速度之间的夹角是 θ,由于速度大小先减小后增大,所以初速度方向与恒力方向间的夹角为钝角,最小速度 $v=v_0\sin\theta=0.5v_0$,即 $\theta=150°$,选项 C 错误;在沿恒力方向上速度为零时有 $v_0\cos 30°-\frac{F}{m}\Delta t=0$,解得 $\Delta t=\frac{\sqrt{3}mv_0}{2F}$,选项 D 正确.

7. **答案**:B

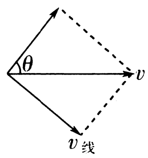
解析:小船在南北方向上做匀速直线运动,在东西方向上先加速,到达河中间后再减速,小船的合运动是曲线运动,选项 A 错误;当小船运动到河中间时,东西方向上的分速度最大,此时小船的合速度最大,最大值 $v_m=5$ m/s,选项 B 正确;小船在距南岸 200 m 处的速度等于在距北岸 200 m 处的速度,选项 C 错误;小船的渡河时间 $t=200$ s,选项 D 错误.

8. **答案**:C

解析:将小球 A 和 B 到达位置 2 时的速度分别沿杆和垂直于杆的方向分解,则小球 A 沿杆方向的分速度 $v_A=v_1\sin\theta$,小球 B 沿杆方向的分速度 $v_B=v_2\sin\theta$,因为同一根杆上速度大小相等,即 $v_A=v_B$,所以 $v_2=v_1$,选项 C 正确,选项 A、B、D 错误.

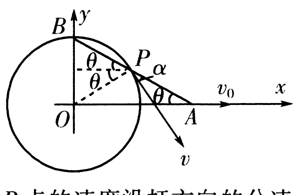
9. **答案**:A

解析:由题意可知,线与光盘的交点参与两个运动,一是沿着线方向的运动,二是垂直线方向的运动,则合运动的速度大小为 v,如图所示,由数学三角函数关系,则有 $v_{线}=v\sin\theta$;而线的速度,即为小球上升的速度,选项 A 正确.



10. **答案**:BD

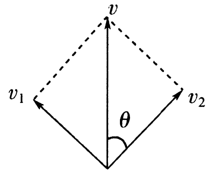
解析:设 P 点坐标为 (x,y),则 A、B 点的坐标分别为 $(2x,0)$、$(0,2y)$,AB 长度一定,设为 L,根据勾股定理,有 $(2x)^2+(2y)^2=L^2$,解得 $x^2+y^2=\frac{1}{4}L^2$,故 P 点的运动轨迹是圆的一部分,选项 A 错误,选项 B 正确;画出运动轨迹,如图所示,速度 v 与杆的夹角 $\alpha=90°-2\theta$;由于杆不可伸长,故 P 点的速度沿杆方向的分速



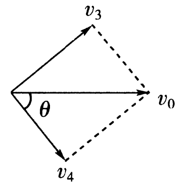
度与 A 点速度沿杆方向的分速度相等，故 $v\cos\alpha=v_0\cos\theta$，$v\cos(90°-2\theta)=v_0\cos\theta$，解得：$v=\frac{v_0}{2\sin\theta}$，选项 C 错误，选项 D 正确.

11. **答案**：$v=v_0\tan\theta$

解析：由于半圆形柱体对杆的弹力沿 OP 方向，所以将竖直杆向上的速度 v 沿 OP 方向和沿半圆的切线方向分解，如图甲所示；将半圆形柱体水平向右的速度 v_0 也沿 OP 方向和沿半圆的切线方向分解，如图乙所示；二者在垂直于接触面的方向上（OP 方向）的分速度相等，于是有 $v_0\sin\theta=v\cos\theta$，解得 $v=v_0\tan\theta$.



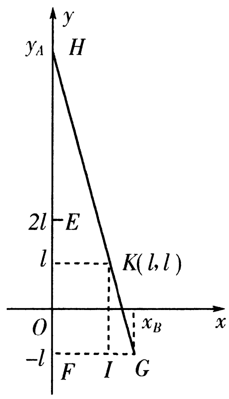
甲



乙

12. **答案**：$v=\frac{1}{4}\sqrt{6al}$

解析：设 B 车的速度大小为 v. 如图所示，标记 R 在时刻 t 通过点 $K(l,l)$，此时 A、B 的位置分别为 H、G. 由运动学公式知，H 的纵坐标 y_A、G 的横坐标 x_B 分别为



$y_A=2l+\frac{1}{2}at^2$ ①

$x_B=vt$ ②

在开始运动时，R 到 A 和 B 的距离之比为 2∶1，即 $OE:OF=2:1$

由于橡皮筋的伸长是均匀的，在以后任一时刻 R 到 A 和 B 的距离之比都为 2∶1.

因此，在时刻 t 有 $HK:KG=2:1$ ③

由于 $\triangle FGH\backsim\triangle IGK$，有

$HG:KG=x_B:(x_B-l)$ ④

$HG:KG=(y_A+l):(2l)$ ⑤

由③④⑤式得 $x_B=\frac{3}{2}l$ ⑥

$y_A=5l$ ⑦

联立①②⑥⑦式得 $v=\frac{1}{4}\sqrt{6al}$.

第二讲 抛体运动

［章节练习］

1. **答案**：C

解析：设飞镖的方向与竖直方向的夹角为 θ，飞镖在空中飞行时间为 t，则 $\tan\theta=\frac{v_0}{gt}$，根据平抛知识可得：$x=v_0t$，进一步可得：$x=\frac{v_0^2}{g\tan\theta}$，$x$ 相同，θ 越大，$\tan\theta$ 越大，v_0 越大，飞镖在空中飞行时间越短，飞镖下落的

竖直位移越小，A 飞镖掷出的初速度一定比 B 飞镖掷出的初速度大，选项 C 正确；A 飞镖在空中飞行时间一定比 B 飞镖在空中飞行时间短，选项 D 错误；A、B 两飞镖的掷出点可能在同一点，选项 A、B 错误.

2. **答案**:C

解析:小球做平抛运动，在飞行过程中恰好与半圆轨道相切于 B 点，则知速度与水平方向的夹角为 30°，则 $v_y = v_0\tan 30°$，又 $v_y = gt$，则 $v_0\tan 30° = gt$，$t = \frac{v_0\tan 30°}{g}$. 水平方向上小球做匀速直线运动，则有 $R + R\cos 60° = v_0 t$. 联立解得 $v_0 = \sqrt{\frac{3\sqrt{3}gR}{2}}$，故选项 C 正确.

3. **答案**:B

解析:平抛运动的时间由下落高度决定，与水平初速度无关，初速度大时，与半圆接触时下落的距离不一定比初速度小时下落的距离大，选项 A 错误；初速度不同的小球下落的高度可能相等，如碰撞点关于半圆过 O 点的竖直轴对称的两个点，运动的时间相等，选项 B 正确；落在圆形轨道最低点的小球下落的距离最大，运动时间最长，末速度 $v = \sqrt{v_0^2 + v_y^2}$，由于初速度不是最大，故末速度不一定最大，选项 C 错误；若小球落到半圆形轨道的瞬间，速度方向沿半径方向，则其速度的反向延长线过水平位移的中点，由此推知水平位移等于直径，不存在这样的点，选项 D 错误.

4. **答案**:D

解析:设以速率 v_1 发射乒乓球，经过时间 t_1 刚好擦着球网落到正中间. 则竖直方向上有

$$3h - h = \frac{1}{2}gt_1^2 \quad ①$$

水平方向上有 $\frac{L_1}{2} = v_1 t_1$ ②

由①②式可得 $v_1 = \frac{L_1}{4}\sqrt{\frac{g}{h}}$；

设以速率 v_2 发射乒乓球，经过时间 t_2 刚好落到球网右侧台面的两角处，在竖直方向有

$$3h = \frac{1}{2}gt_2^2 \quad ③$$

在水平方向有 $\sqrt{\left(\frac{L_2}{2}\right)^2 + L_1^2} = v_2 t_2$ ④

由③④式可得 $v_2 = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{(4L_1^2 + L_2^2)g}{6h}}$；

则 v 的最大取值范围为 $\frac{L_1}{4}\sqrt{\frac{g}{h}} < v < \frac{1}{2}\sqrt{\frac{(4L_1^2 + L_2^2)g}{6h}}$，故选项 D 正确.

5. **答案**:C

解析:在 P 点的初速度减小,则下降到筐上沿这段时间内,水平位移变小,则小球不能进入筐中,故 A 错误;在 P 点的初速度增大,则下降到筐底的时间内,水平位移增大,不能直接击中筐底的正中间,故 B 错误;在 P 点正上方某位置将小球以小于 v 的速度水平抛出,根据 $x=v\sqrt{\frac{2h}{g}}$知,水平位移可以减小,也不会与框的上沿相撞,可以落在筐底的正中间,故 C 正确;在 P 点正下方某位置将小球以小于 v 的速度水平抛出,则下落到筐的上沿这段时间内水平位移变小,小球不能进筐,故 D 错误.

6. **答案**:AD

解析:设导向槽位置离地面的高度为 h,小球到达导向槽的速度大小为 v_0,由 $x=\frac{v_t^2-v_0^2}{2a}$可得:

$h=\frac{v^2-v_0^2}{2g}$,$v_0=\sqrt{v^2-2gh}$;设小球做平抛运动的时间为 t,则:$h=\frac{1}{2}gt^2$,$x=v_0t$,

则:$x=\sqrt{\frac{2(v^2-2gh)h}{g}}=2\sqrt{\left(\frac{v^2}{2g}-h\right)h}$,当小球有最大水平位移时,则$\frac{v^2}{2g}-h=h$,即:$h=\frac{v^2}{4g}$,此时水平位移的最大值为 $x_{\max}=2h=\frac{v^2}{2g}$,选项 A 正确,选项 B 错误;根据重力做功和路径无关,由动能定理可得:小球在上、下两过程中,在经过某相同高度时,合速度的大小总有 $v_{下}=v_{上}$,选项 C 错误;当小球落地时,小球的位移方向和水平方向的夹角为 θ,则 $\tan\theta=\frac{h}{2h}=\frac{1}{2}$,根据做平抛运动物体某一点的速度方向和水平方向夹角的正切值是该点位移方向和水平方向夹角正切值的 2 倍,设当小球落地时,小球的速度方向和水平方向的夹角为 α,则 $\tan\alpha=2\tan\theta=1$,$\alpha=45°$,选项 D 正确.

7. **答案**:ABC

解析:本题可分三种情况进行讨论:

①若两次小球都落在 BC 水平面上,则下落的高度相同,所以运动的时间相同,水平距离之比等于水平初速度之比为 1 :2,选项 A 正确;

②若两次小球都落在斜面 AB 上,设斜面倾角为 θ,则在竖直方向上小球做自由落体运动,设运动的时间分别为 t_1 和 t_2,则:

第一次:$\tan\theta=\frac{h_1}{s_1}=\frac{\frac{1}{2}gt_1^2}{vt_1}=\frac{gt_1}{2v}$

第二次:$\tan\theta=\frac{h_2}{s_2}=\frac{\frac{1}{2}gt_2^2}{2vt_2}=\frac{gt_2}{4v}$

联立得:$t_1=\frac{1}{2}t_2$

所以$\frac{s_1}{s_2}=\frac{vt_1}{2vt_2}=\frac{1}{4}$,选项 C 正确;

③若第一次落在斜面 AB 上，第二次落在水平面 BC 上，根据平抛运动的基本规律可知其水平位移比值在 $1:2$ 到 $1:4$ 之间，故 B 正确.

8. **答案**:A

解析:设半圆弧的半径为 R，$\angle OAC$ 为 θ，由 $y=\frac{1}{2}gt^2$ 可得：两个小球的运动时间相同，结合题意和几何关系可得：$2R\cos^2\theta=v_1t$，$2R\cos^2\theta-R=v_2t$，v_1、v_2 的大小之比为 $\frac{v_1}{v_2}=\frac{2\cos^2\theta}{2\cos^2\theta-1}=32:7$，选项 A 正确.

9. **答案**:B

解析:采用逆向思维法，小球做斜抛运动看成是平抛运动的逆反运动，将抛出速度沿水平和竖直方向分解，有：$v_x=v\cos 37°=0.8v$，$v_y=v\sin 37°=0.6v$，球撞墙前瞬间的速度等于 $0.8v$，反弹速度大小为：$v_x'=\frac{3}{4}\times 0.8v=0.6v$，反弹后小球做平抛运动，当小球的速度大小再次为 v 时，竖直速度为：$v_y'=\sqrt{v^2-v_x'^2}=\sqrt{v^2-(0.6v)^2}=0.8v$，速度方向与水平方向夹角的正切值为：$\tan\theta=\frac{v_y'}{v_x'}=\frac{4}{3}$，故选项 B 正确，选项 A、C、D 错误.

10. **答案**:D

解析:由题意可知，小球 A 恰好能垂直落在斜坡上，由几何关系知，小球 A 竖直方向的速度增量 $v_y=gt_1=v_0$，水平位移 $x=v_0t_1$，竖直位移 $y=\frac{1}{2}gt_1^2$，联立解得 $\frac{y}{x}=\frac{1}{2}$，由几何关系知，小球 B 自由下落的高度 $h'=x+y=\frac{1}{2}gt_2^2$，联立以上各式解得 $\frac{t_1}{t_2}=\frac{1}{\sqrt{3}}$，选项 D 正确.

11. **答案**:A

解析:若小球打到第四级台阶的边缘，$h_1=4d=\frac{1}{2}gt_1^2$，$x_1=4d=v_1t_1$，求得平抛运动的最大速度 $v_1=2\sqrt{2}$ m/s；若小球打到第三级台阶的边缘，$h_2=3d=\frac{1}{2}gt_2^2$，$x_2=3d=v_2t_2$，则能求得平抛运动的最小速度 $v_2=\sqrt{6}$ m/s. 所以 v 的取值范围为 $\sqrt{6}$ m/s $<v\leqslant 2\sqrt{2}$ m/s.

12. **答案**:C

解析:第一颗炸弹飞行时间 $t_1=\sqrt{\frac{2h_1}{g}}=\sqrt{\frac{2\times 2\ 000}{10}}$ s $=20$ s

飞机扔第一颗炸弹时离山脚的水平距离 $x_1=vt_1=4\ 000$ m.

第二颗炸弹飞行时间 $t_2=\sqrt{\frac{2h_2}{g}}=\sqrt{\frac{2(2\ 000-720)}{10}}$ s $=16$ s

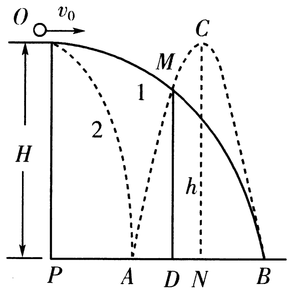
飞行的水平距离 $x_2=vt_2=3\ 200$ m

则投弹的时间间隔为 $t=\frac{x_1+1\ 000\ \text{m}-x_2}{v}=9$ s，故选项 C 正确.

13. **答案**:A

解析:对于从 B 点抛出的小球,小球到达 C 点的时间为 $t_1=\frac{x}{v_B}$,小球到达 C 点的速度大小为 $v_1=\sqrt{v_B^2+(gt_1)^2}=\sqrt{v_B^2+\frac{g^2x^2}{v_B^2}}$;对于从 A 点抛出的小球,小球到达 C 点的时间为 $t_2=\frac{x}{v_A}$,小球到达 C 点的速度大小为 $v_2=\sqrt{v_A^2+(gt_2)^2}=\sqrt{v_A^2+\frac{g^2x^2}{v_A^2}}$,由 $v_1=v_2$,进一步整理可得:$v_Av_B=gx$,选项 A 正确.

14. **答案**:ABD



解析:设球 1 从抛出到 B 点的水平位移为 x_1,运动时间为 t_1,球 2 从抛出到 A 点的水平位移为 x_2,运动时间为 t_2,由几何关系可得:$x_1=3x_2$,由 $y=\frac{1}{2}gt^2$ 可得:$H=\frac{1}{2}gt_1^2=\frac{1}{2}gt_2^2$,由 $x=v_0t$ 可得:$x_1=v_1t_1$,$x_2=v_2t_2$,解得:$v_1=3v_2$,即球 1 平抛的初速度为球 2 的 3 倍,选项 A 正确;由 $x=v_0t$ 和 $y=\frac{1}{2}gt^2$ 可得:$v_0=x\sqrt{\frac{g}{2y}}$,设 $PA=AN=NB=L$,$AD=d$,$DN=L-d$,$MD=h$,对球 1 可得:$v_1=(L+d)\sqrt{\frac{g}{2(H-h)}}$,对球 2 可得:$v_2=(L-d)\sqrt{\frac{g}{2(H-h)}}=L\sqrt{\frac{g}{2H}}$,解得:$d=\frac{1}{2}L$,$h=\frac{3}{4}H$,$D$ 为 PB 的中点,球 1 掠过挡板的时刻恰好是其做平抛运动从 O 到 B 的中间时刻,选项 B、D 正确;$AD=\frac{1}{2}L$,$DB=AB-AD=2L-\frac{1}{2}L=\frac{3L}{2}$,$AD=\frac{1}{3}DB$,选项 C 错误.

15. **答案**:(1)平抛运动在竖直方向上是自由落体运动

(2)P、Q 二球相碰　平抛运动在水平方向上是匀速运动

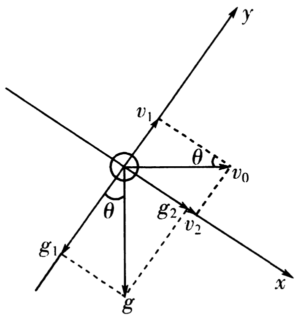
(3)$\frac{1}{28}$　0.7

解析:平抛运动在竖直方向上可分解为自由落体运动,根据“做匀变速直线运动物体在连续相等的时间内位移差为定值”可得:$y_2-y_1=gT^2$,即:$1.25\times10^{-2}\ \text{m}=9.8\ \text{m/s}^2\times T^2$,解得:$T=\frac{1}{28}\ \text{s}$

平抛运动在水平方向上可分解为匀速直线运动,可得:$2L=v_0T$,即:$2\times1.25\times10^{-2}\ \text{m}=v_0\times\frac{1}{28}\ \text{s}$,解得:$v_0=0.7\ \text{m/s}$.

16. **答案**:$\frac{v_0\tan\theta}{g}$　$\frac{v_0^2\sin^2\theta}{2g\cos\theta}$

解析:将速度和加速度分别沿垂直于斜面和平行于斜面方向进行分解,如图所示.



速度 v_0 沿垂直斜面方向上的分量 $v_1=v_0\sin\theta$

加速度 g 在垂直于斜面方向上的分量 $g_1=g\cos\theta$

根据分运动的独立性原理,小球离斜面的最大距离仅由 v_1 和 g_1 决定,当垂直于斜面的分速度减小为零时,小球离斜面的距离最远.

由 $v_1=g_1t$,解得:$t=\dfrac{v_0\tan\theta}{g}$

由 $s=\dfrac{v_1^2}{2g_1}$,解得:$s=\dfrac{v_0^2\sin^2\theta}{2g\cos\theta}$.

17. **答案**:(1)$\sqrt{\dfrac{3h}{g}}$　(2)$L\sqrt{\dfrac{g}{4h}}\leqslant v\leqslant L\sqrt{\dfrac{g}{2h}}$

解析:(1)打在探测屏 AB 中点的微粒下落的高度$\dfrac{3h}{2}=\dfrac{1}{2}gt^2$ ①

解得 $t=\sqrt{\dfrac{3h}{g}}$. ②

(2)打在 B 点的微粒初速度 $v_1=\dfrac{L}{t_1}$;$2h=\dfrac{1}{2}gt_1^2$ ③

解得 $v_1=L\sqrt{\dfrac{g}{4h}}$ ④

同理,打在 A 点的微粒初速度 $v_2=L\sqrt{\dfrac{g}{2h}}$. ⑤

则能被屏探测到的微粒初速度范围 $L\sqrt{\dfrac{g}{4h}}\leqslant v\leqslant L\sqrt{\dfrac{g}{2h}}$. ⑥

18. **答案**:0.25 m

解析:根据牛顿第二定律,在 OP 段有 $F-\mu mg=ma$,

又 $2as=v_P^2$,

由平抛运动规律和几何关系有

物块的水平射程 $x=v_Pt$

物块的竖直位移 $y=\frac{1}{2}gt^2$

由几何关系有 $y=x\tan\theta$

联立以上各式可以得到 $x=\frac{2v_P^2\tan\theta}{g}$

解得 $F=\frac{mg}{4s\tan\theta}x+\mu mg$

由图象知 $\mu mg=5\ \text{N}$，$\frac{mg}{4s\tan\theta}=10\ \text{N/m}$，解得 $s=0.25\ \text{m}$.

19. **答案**：(1) $\sqrt{2gH}$ (2) $h-\frac{4}{5}H<x<h$ (3) $2\sqrt{\frac{H}{g}}$

解析：(1)设小球落到地面上的速度为 v，根据机械能守恒可得：$mgH=\frac{1}{2}mv^2-0$

解得：$v=\sqrt{2gH}$.

(2)小球做自由落体的末速度为：$v_0=\sqrt{2g(H-h+x)}$

小球做平抛运动的时间为：$t_1=\sqrt{\frac{2(h-x)}{g}}$

小球的水平位移为：$s=2\sqrt{(H-h+x)(h-x)}$

由 $s>h-x$

解得：$h-\frac{4}{5}H<x<h$.

(3) $t=\sqrt{\frac{2(H-h+x)}{g}}+\sqrt{\frac{2(h-x)}{g}}$

$t^2=\frac{2H}{g}+4\sqrt{\frac{(H-h+x)(h-x)}{g}}$

当 $H-h+x=h-x$ 时，即 $x=h-\frac{1}{2}H$ 时，小球的运动时间最长，$x=h-\frac{1}{2}H$，符合(2)的条件，代入得：

$t_{max}=2\sqrt{\frac{H}{g}}$.

第三讲 圆周运动

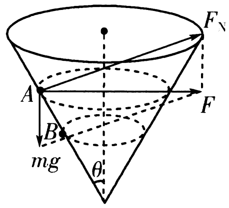
[**章节练习**]

1. **答案**：D

解析：A、B 两点角速度相同，由 $a_n=r\omega^2$，可得：$a_A:a_B=R_1:R_2$；B、C 两点线速度大小相同，由 $a_n=\frac{v^2}{r}$，可得：$a_B:a_C=R_3:R_2$，故 $\frac{a_A}{a_C}=\frac{R_1R_3}{R_2^2}$，选项 D 正确.

2. **答案**:CD

解析:以小球为研究对象,对小球受力分析,小球受力如图所示.



由牛顿第二定律得:$\frac{mg}{\tan\theta}=\frac{mv^2}{r}=mr\omega^2$,可知在 A、B 轨道的向心力大小相等,$a=\frac{g}{\tan\theta}$,向心加速度不变,故选项 A 错误;角速度 $\omega=\sqrt{\frac{g}{r\tan\theta}}$,由于半径减小,则角速度变大,故选项 B 错误;线速度 $v=\sqrt{\frac{gr}{\tan\theta}}$,由于半径减小,线速度减小,选项 C 正确;周期 $T=\frac{2\pi}{\omega}$,角速度增大,则周期减小,故 D 正确.

3. **答案**:A

解析:由题意可知,两根轻绳与水平方向的夹角为 60°,小球在最高点速率为 v 时,两根绳的拉力恰好均为零,由牛顿第二定律得 $mg=\frac{mv^2}{r}$;当小球在最高点的速率为 $2v$ 时,由牛顿第二定律得 $mg+2F\sin 60°=\frac{m(2v)^2}{r}$,解得 $F=\sqrt{3}mg=5\sqrt{3}$ N,故选项 A 正确.

4. **答案**:D

解析:甲、乙两圆盘边缘上的各点线速度大小相等,有 $\omega_甲 r_甲=\omega_乙 r_乙$,因 $r_甲:r_乙=3:1$,则 $\omega_甲:\omega_乙=1:3$,所以小物体相对盘开始滑动前,m_1 与 m_2 的角速度之比 $\omega_1:\omega_2=1:3$,故选项 A 错误;小物体相对盘开始滑动前,根据 $a=r\omega^2$ 得 m_1 与 m_2 的向心加速度之比为 $a_1:a_2=(2r\omega_1^2):(r\omega_2^2)=2:9$,故选项 B 错误;根据 $\mu mg=mr\omega^2=ma$ 知,因 $a_1:a_2=2:9$,圆盘和小物体的动摩擦因数相同,可知当转速增加时,m_2 先达到临界角速度,所以 m_2 先开始滑动,故选项 C 错误,选项 D 正确.

5. **答案**:B

解析:开始时,玻璃管壁的摩擦力不足以提供水做圆周运动时所需要的合外力,所以水被“甩”到外侧管底才能随转盘进行圆周运动,则乒乓球在水的作用下向管口运动,故 B 正确.

6. **答案**:ACD

解析:细线断裂之前,细线拉力与速度垂直,不做功,不改变小球的速度大小,故小球的速度大小保持不变,故选项 A 正确,B 错误;细线刚断裂时,拉力大小为 7 N,由 $F=\frac{mv_0^2}{r}$得,此时的半径为 $r=\frac{2}{7}$ m,由于小球每转 120°,半径减小 0.3 m,则知小球刚好转过一周,细线断裂,则小球运动的总时间为 $t=\frac{1}{3}\times\frac{2\pi r_1}{v_0}+\frac{1}{3}\times\frac{2\pi r_2}{v_0}+\frac{1}{3}\times\frac{2\pi r_3}{v_0}$,而 $r_1=1$ m,$r_2=0.7$ m,$r_3=0.4$ m,$v_0=2$ m/s,解得 $t=0.7\pi$ s,故选项 C 正确;

小球每转 120°,半径减小 0.3 m,细线断裂之前,小球运动的位移大小为 1 m - 0.1 m = 0.9 m,故选项 D 正确.

7. **答案**:B

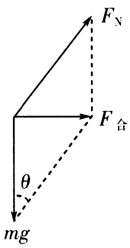
解析:小球在竖直放置的光滑圆形管道内的圆周运动属于轻杆模型,小球通过最高点的最小速度为零,选项 A 错误,选项 B 正确;小球在水平线 ab 以下管道运动时,由于沿半径方向的合力提供做圆周运动的向心力,所以外侧管壁对小球一定有作用力,而内侧管壁对小球一定无作用力,故 C 错误;小球在水平线 ab 以上管道运动时,由于沿半径方向的合力提供做圆周运动的向心力,当速度非常大时,内侧管壁没有作用力,此时外侧管壁有作用力,当速度比较小时,内侧管壁有作用力,故选项 D 错误.

8. **答案**:A

解析:小球在最高点时,杆对球可以表现为支持力,由牛顿第二定律得:$mg - F = \frac{mv^2}{L}$,则得 $v < gL$,选项 A 正确;当小球速度为 $\sqrt{gL}$ 时,由重力提供向心力,杆的作用力为零,选项 B 错误;轻杆在最高点可以表现为拉力,此时根据牛顿第二定律有 $mg + F = \frac{mv^2}{L}$,则知 v 越大,F 越大,即随小球速度的增大,杆的拉力增大;小球通过最高点时杆对球的作用力也可以表现为支持力,当表现为支持力时,有 $mg - F = \frac{mv^2}{L}$,则知 v 越大,F 越小,即随小球速度的增大,杆的支持力减小,选项 C、D 错误.

9. **答案**:C

解析:由牛顿第二定律 $F_{合} = \frac{mv^2}{R}$,解得 $F_{合} = mg\tan\theta$,此时火车只受重力和铁路轨道的支持力作用,如图所示,$F_N\cos\theta = mg$,则 $F_N = \frac{mg}{\cos\theta}$,内、外轨道对火车均无侧压力,故选项 C 正确,A、B、D 错误.



10. **答案**:C

解析:物体随圆盘做圆周运动,运动到最低点时最容易滑动,因此物体在最低点且刚好要滑动时的转动角速度为最大值,这时,根据牛顿第二定律有,$\mu mg\cos 30° - mg\sin 30° = mr\omega^2$,求得 $\omega = 1.0$ rad/s,选项 C 正确,选项 A、B、D 错误.

11. **答案**:CD

解析:由题意知,物块的速度为:$v = R\omega = 0.5 \times 2t = t(\times 1\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2})$,又 $v = at$,故可得:$a = 1\ \text{m/s}^2$,所以物块做匀加速直线运动,加速度大小是 1 m/s²,选项 A 错误,选项 D 正确;由牛顿第二定律可得:物块所受合外力为:$F = ma = 1$ N,$F = T - f$,地面摩擦阻力为:$f = \mu mg = 0.5 \times 1 \times 10$ N = 5 N,故可得物块受细线拉力为:$T = F + f = 6$ N,选项 B 错误,选项 C 正确.

12. **答案**:D

解析:设 A、B 质量分别为 m、M,A 做匀速圆周运动的向心加速度为 a,细线与竖直方向的夹角为 θ,对 B 研究,B 受到的摩擦力 $f=T\sin\theta$,对 A,有 $T\sin\theta=ma$,$T\cos\theta=mg$,解得 $a=g\tan\theta$,θ 变小,a 减小,则静摩擦力变小,选项 A 错误;以整体为研究对象知,B 受到桌面的支持力大小不变,应等于 $(M+m)g$,选项 B 错误;细线的拉力 $T=\dfrac{mg}{\cos\theta}$,θ 变小,T 变小,选项 C 错误;设细线长为 L,则 $a=g\tan\theta=\omega^2L\sin\theta$,$\omega=\sqrt{\dfrac{g}{L\cos\theta}}$,$\theta$ 变小,ω 变小,选项 D 正确.

13. **答案**:B

解析:当小球线速度增至绳 BC 被拉直后,由牛顿第二定律可得,竖直方向上:$T_A\sin\angle ACB=mg$①,水平方向上:$T_A\cos\angle ACB+T_B=\dfrac{mv^2}{r}$②,由①式可得:$T_A=\dfrac{5}{4}mg$,小球线速度增大时,$T_A$ 不变,T_B 增大,当 BC 绳刚要被拉断时,$T_B=2mg$,由②可解得此时,$v\approx5.24\ \text{m/s}$;BC 绳断后,随小球线速度增大,AC 线与竖直方向间夹角增大,设 AC 线被拉断时与竖直方向的夹角为 α,由 $T_{AC}\cos\alpha=mg$,$T_{AC}\sin\alpha=\dfrac{mv'^2}{r'}$,可解得,$\alpha=60°$,$L_{AC}=\dfrac{5}{3}\ \text{m}$,$v'=5\ \text{m/s}$,选项 B 正确.

14. **答案**:D

解析:设每隔时间 T,a、b 相距最近,

则 $(\omega_a-\omega_b)T=2\pi$,所以 $T=\dfrac{2\pi}{\omega_a-\omega_b}=\dfrac{T_aT_b}{T_b-T_a}$

故 b 运动一周的过程中,a、b 相距最近的次数为:

$n=\dfrac{T_b}{T}=\dfrac{T_b-T_a}{T_a}=k-1$

即 a、b 距离最近的次数为 $(k-1)$ 次,故选项 A、B 均错误;

设每隔时间 t,a、b、c 共线一次,则 $(\omega_a-\omega_b)t=\pi$

所以 $t=\dfrac{\pi}{\omega_a-\omega_b}=\dfrac{T_aT_b}{2(T_b-T_a)}$

故 b 运动一周的过程中,a、b、c 共线的次数为:

$n=\dfrac{T_b}{t}=\dfrac{2(T_b-T_a)}{T_a}=2k-2$,故选项 C 错误,选项 D 正确.

15. **答案**:C

解析:球 B 运动到最高点时,杆对球 B 恰好无作用力,即重力恰好提供向心力,有 $mg=\dfrac{mv_B^2}{2L}$,解得 $v_B=\sqrt{2gL}$,选项 A 错误;由于 A、B 两球的角速度相等,则球 A 的线速度大小 $v_A=\dfrac{1}{2}\sqrt{2gL}$,选项 B 错误;$B$

球在最高点时，对杆无弹力，此时 A 球受重力和拉力的合力提供向心力，有 $F-mg=\frac{mv_A^2}{L}$，解得：$F=1.5mg$，选项 C 正确，选项 D 错误.

16. **答案**：ABD

解析：当 B 受到的摩擦力为零时，由弹簧弹力提供向心力，则有 $k(1.5r+r-1.5r)=2mr\omega^2$，解得：$\omega=\sqrt{\frac{k}{2m}}$，选项 A 正确；当 A 受到的摩擦力为零时，由弹簧弹力提供向心力，则有 $k(1.5r+r-1.5r)=1.5mr\omega^2$，解得：$\omega=\sqrt{\frac{2k}{3m}}$，选项 B 正确；假设 B 先滑动，则当 B 刚好要滑动时，摩擦力达到最大静摩擦力，弹簧弹力与静摩擦力的合力提供向心力，则有：$k(1.5r+r-1.5r)+2\mu mg=2mr\omega^2$，解得：$\omega=\sqrt{\frac{k}{2m}+\frac{\mu g}{r}}$，选项 C 错误；假设 A 先滑动，则当 A 刚好要滑动时，摩擦力达到最大静摩擦力，弹簧弹力与静摩擦力的合力提供向心力，则有 $k(1.5r+r-1.5r)+\mu mg=1.5mr\omega^2$，解得：$\omega=\sqrt{\frac{2k}{3m}+\frac{2\mu g}{3r}}$，即 A、B 同时开始滑动，选项 D 正确.

17. **答案**：BC

解析：当小球刚好没有脱离圆锥时，小球受重力 mg、细线拉力 F 的作用，它们的合力提供向心力，$\frac{mg}{\tan\theta}=ml\cos\theta\omega_0^2$，代入数据解得 $\omega_0=\sqrt{10\sqrt{2}}$ rad/s，此时 ω_0 的取值范围介于 3 rad/s 到 4 rad/s 之间，当 ω 较小时，小球没有脱离圆锥体，小球受到重力 mg、细线拉力 F 和光滑圆锥体的支持力 N 的作用，它们在水平方向的合力提供向心力，则 $F\sin\theta+N\cos\theta=mg$，$F\cos\theta-N\sin\theta=m\omega^2l\cos\theta$，可求得，$F=m\omega^2l\cos^2\theta+mg\sin\theta$，此时 $(5\sqrt{2}+4.5)\ \mathrm{N}\leqslant F\leqslant 10\sqrt{2}\ \mathrm{N}$，当 ω 较大时，小球脱离圆锥，小球的重力 mg 和细线拉力 F 的合力提供向心力，设细线和水平方向夹角为 α，则 $F\cos\alpha=ml\cos\alpha\omega^2$，可求得 $F=ml\omega^2$，$10\sqrt{2}\ \mathrm{N}\leqslant F\leqslant 16\ \mathrm{N}$，综上分析，选项 B、C 正确.

18. **答案**：C

解析：小球做变速圆周运动，在初位置加速度不指向圆心，将其分解：

切向加速度为：$a'=\frac{mg\sin\alpha}{m}=g\sin\alpha$

向心加速度为：$a_n=\frac{v_0^2}{L}=\frac{3^2}{0.30}\ \mathrm{m/s^2}=30\ \mathrm{m/s^2}$

此时小球的加速度为合加速度，即 $a=\sqrt{a_n^2+a'^2}>a_n=30\ \mathrm{m/s^2}>\sqrt{30}\ \mathrm{m/s^2}$，选项 A 错误；从开始到最高点过程，根据动能定理（后面内容），有：$-mgL\sin\alpha=\frac{1}{2}mv_1^2-\frac{1}{2}mv_0^2$，解得：$v_1=\sqrt{v_0^2-2gL\sin\alpha}$，考虑临界情况，如果没有杆的弹力，重力平行斜面的分力提供向心力，有：$mg\sin\alpha=\frac{mv_2^2}{L}$，代入数据计算可以得到 v_2 小

于 v_1，说明杆在最高点对球的作用力是拉力，选项 B 错误；在最高点时，轻杆对小球的弹力是拉力，故：$F + mg\sin\alpha = \frac{mv_{最高}^2}{L}$，如果初速度增大，则最高点速度也增大，故拉力 F 一定增大，选项 C 正确，选项 D 错误.

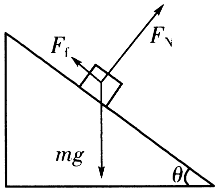
19. **答案**：(1)38.7 m/s　(2)30 m/s

解析：(1)汽车恰好不受路面摩擦力时，由重力和支持力的合力提供向心力，根据牛顿第二定律得：

$mg\tan\theta = \frac{mv^2}{r}$

解得：$v \approx 38.7$ m/s.

(2)当车道对车的摩擦力沿车道向上且等于最大静摩擦力时，车速最小，受力如图所示，根据牛顿第二定律得：



$F_N\sin\theta - F_f\cos\theta = \frac{mv_{min}^2}{r}$

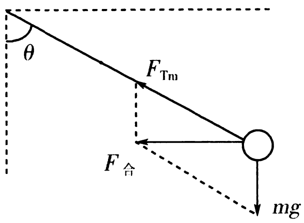
$F_N\cos\theta + F_f\sin\theta = mg$

$F_f = \mu F_N$

解得：$v_{min} = 30$ m/s.

20. **答案**：(1)$\sqrt{\frac{3gL}{2}}$　(2)$\frac{13}{4}L$　$3L$

解析：(1)小球在绳断前瞬间受力如图所示，由牛顿第二定律得：



竖直方向上有：$F_{Tm}\cos\theta - mg = 0$

水平方向上有：$F_{Tm}\sin\theta = \frac{mv_1^2}{r}$

由几何关系得：$r = L\sin\theta$

又知：$F_{Tm} = 2mg$

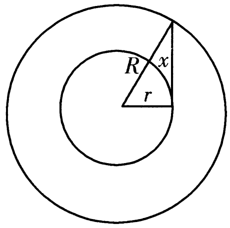
联立解得：$\theta = 60°$，$v_1 = \sqrt{\frac{3gL}{2}}$.

(2)小球从飞出到落地，由能量定律得：$\frac{1}{2}mv_1^2 + mgh_1 = \frac{1}{2}mv_2^2$

解得：$h_1 = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} = \frac{11}{4}L$

则：$H = h_1 + L\cos\theta = \frac{13}{4}L$

设小球由飞出至落地的水平射程为 x,如图所示.



水平方向上有:$x=v_1t$

竖直方向上有:$h_1=\frac{1}{2}gt^2$

由几何关系得:$R=\sqrt{r^2+x^2}$

联立解得:$R=3L$.

21. **答案**:(1)6.000 (2)15.0 (3)28.0

解析:(1)60 mm + 0 × 0.05 mm = 60.00 mm.

(2)$v_D=\frac{CE}{2T}=\frac{(14.64-5.64)\times10^{-2}}{2\times0.1}$ m/s $=0.45$ m/s,$\omega_D=\frac{v_D}{r}=15.0$ rad/s.

(3)由 $v=r\omega$ 可得:$\Delta v=r\Delta\omega$,$a=\frac{\Delta v}{\Delta t}=r\frac{\Delta\omega}{\Delta t}=r\beta$,$a=\frac{CE-AC}{4T^2}=\frac{(14.64-5.64-5.64)\times10^{-2}}{4\times0.1^2}$ m/s^2 = 0.84 m/s^2,$\beta=\frac{a}{r}=28.0$ rad/s^2.

第四讲　万有引力及其应用

[章节练习]

1. **答案**:C

解析:对接前,飞船通过自身减速,飞船所需要的向心力小于飞船受到的万有引力,飞船做近心运动,轨道半径变小,选项 A 错误;对接后,飞船的线速度大小为 $v=\frac{2\pi r}{T}=\frac{2\pi(k+1)R}{T}$,选项 B 错误;对接后,飞船的加速度大小为 $a=\frac{GM}{r^2}$,$g=\frac{GM}{R^2}$,$r=(1+k)R$,可得 $a=\frac{g}{(1+k)^2}$,选项 C 正确;由 $\frac{GMm}{R^2(1+k)^2}=m(1+k)R\frac{4\pi^2}{T^2}$ 可得:$M=\frac{4\pi^2(1+k)^3R^3}{GT^2}$,地球的密度为 $\rho=\frac{M}{\frac{4}{3}\pi R^3}=\frac{3\pi(1+k)^3}{GT^2}$,选项 D 错误.

2. **答案**:C

解析:设地球的质量为 M,半径为 R,被测物体的质量为 m.

在赤道:$\frac{GMm}{R^2}=G_1+\frac{4\pi^2mR}{T^2}$

在南极:$\frac{GMm}{R^2}=G_2$,地球的体积为 $V=\frac{4}{3}\pi R^3$

地球的密度为 $\rho=\frac{M}{V}$,解得:$\rho=\frac{3\pi G_2}{GT^2(G_2-G_1)}$,故选项 A 错误,选项 B 错误;当放在地球赤道地面上的物体不再对地面有压力时:$G_2=\frac{4\pi^2mR}{T'^2}$

所以:$T'=\sqrt{\frac{G_2-G_1}{G_2}}T$,故选项 C 正确,选项 D 错误.

3. **答案**:D

解析:该卫星运行时的向心力大小为 $F_{向}=\frac{GMm}{r^2}$,由于物体的重力的大小等于地球对物体的万有引力的大小,可得:$\frac{GMm}{R^2}=mg$,结合 $r=nR$ 可得:该卫星运行时的向心力大小为$\frac{mg}{n^2}$,选项 A 错误;该卫星运行时的向心加速度大小 $a=\frac{GM}{r^2}$,地球表面重力加速度大小 $g=\frac{GM}{R^2}$,该卫星运行时的向心加速度大小是地球表面重力加速度大小的$\frac{1}{n^2}$,选项 B 错误;由$\frac{GMm}{r^2}=\frac{mv^2}{r}$可得:$v=\sqrt{\frac{GM}{r}}=\sqrt{\frac{gR^2}{nR}}=\sqrt{\frac{gR}{n}}$,选项 C 错误;第一宇宙速度大小为 v_1,则:$\frac{GMm}{R^2}=\frac{mv_1^2}{R}$,$v_1=\sqrt{\frac{GM}{R}}$,$\frac{v}{v_1}=\frac{1}{\sqrt{n}}$,选项 D 正确.

4. **答案**:D

解析:设 M 的轨道半径为 R,N 的轨道半径为 r,设$\angle ONM=\alpha$,$\angle OMN=\beta$,在$\triangle OMN$ 中由正弦定理可得:$\frac{R}{\sin\alpha}=\frac{r}{\sin\beta}$,当$\angle ONM=90°$,此时 M、N 连线与 M、O 连线间的夹角最大为 θ,则:$\frac{R}{r}=\frac{1}{\sin\theta}$;由开普勒第三定律$\frac{T_M^2}{T_N^2}=\frac{R^3}{r^3}$可得:$M$、$N$ 的运动周期之比等于$\sqrt{\frac{1}{\sin^3\theta}}$,选项 D 正确.

5. **答案**:B

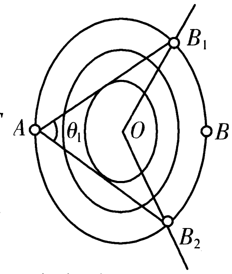
解析:月球的第一宇宙速度比地球的要小,选项 A 错误;“嫦娥五号”从轨道Ⅰ进入月地转移轨道Ⅱ是离心运动,所以需要加速,选项 B 正确;刚开始的时候月球对“嫦娥五号”的引力大于地球对“嫦娥五号”的引力,所以动能要减小,之后当地球的引力大于月球的引力时,卫星的动能就开始增加,选项 C 错误;“嫦娥五号”降落至地面的运动为向心运动,需要减速,故 D 错误.

6. **答案**:BC

解析:质量为 m_1 与 m_2 的双星距离为 L,m_1 的轨道半径为 r_1,m_2 的轨道半径为 r_2,则:$\frac{Gm_1m_2}{L^2}=m_1r_1\omega^2$,$\frac{Gm_1m_2}{L^2}=m_2r_2\omega^2$,$L=r_1+r_2$,$T=\frac{2\pi}{\omega}$,解得:$T=2\pi\sqrt{\frac{L^3}{G(m_1+m_2)}}$,周期 T 极其缓慢地减小,双星间的间距逐渐减小,选项 A 错误;双星间的万有引力 $F=\frac{Gm_1m_2}{L^2}$逐渐增大,选项 B 正确;双星间的间距逐渐减小,万有引力做正功,双星系统的引力势能逐渐减小,选项 D 错误;$\omega=\frac{2\pi}{T}$增大,m_1 与 m_2 的半径几乎不变,根据 $v=r\omega$ 可得:双星的线速度逐渐增大,选项 C 正确.

7. **答案**:BC

解析:设卫星 A、B 的轨道半径分别为 r_1 和 r_2,根据$\frac{GMm}{r^2}=\frac{mv^2}{r}$得:$v=\sqrt{\frac{GM}{r}}$,因为 $r_1=1.51r_2$,卫星 A、B 的速度之比约为 $1:1.23$,选项 A 错误;由$\frac{GMm}{r^2}=\frac{4mr\pi^2}{T^2}$可得:$T=2\pi\sqrt{\frac{r^3}{GM}}$,因为 $r_1=1.51r_2$,可得:卫星 B 的周期约 $0.54T_0$,选项 B 正确;如图所示,B_1、B_2 是卫星盲区的两个边缘位置,由几何知识可得:$\angle B_1OB_2=\theta_1+\theta_2=43.8°$,考虑到卫星 A 比卫星 B 运行的慢,应有$\left(\frac{2\pi}{T_B}-\frac{2\pi}{T_A}\right)t=\frac{43.8°}{360°}\times 2\pi$,解得:$t\approx 0.14T_0$,选项 C 正确;倾斜轨道同步卫星的轨道平面和赤道平面有夹角,周期等于地球自转周期,与地球同步卫星不同,相对地面上固定的观察者是运动的,选项 D 错误.

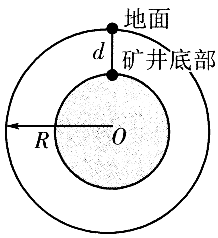


8. **答案**:BC

解析:在稳定运行的情况下,对某一个环绕星体而言,受到其他两个星体的万有引力,两个万有引力的合力提供环绕星体做圆周运动的向心力,选项 A 错误;在稳定运行的情况下,大星体应在小星体轨道中心,两小星体在大星体相对的两侧,选项 B 正确;对某一个小星体有$\frac{GMm}{r^2}+\frac{Gmm}{(2r)^2}=\frac{4\pi^2rm}{T^2}$,解得小星体运行的周期为 $T=\frac{4\pi r^{\frac{3}{2}}}{\sqrt{G(4M+m)}}$,选项 C 正确;大星体相对静止,选项 D 错误.

9. **答案**:A

解析:如图所示,根据题意,地面与矿井底部之间的环形部分对处于矿井底部的物体引力为零. 设地面处的重力加速度为 g,地球质量为 M,地球表面的物体 m 受到的重力近似等于万有引力,故 $mg=\frac{GMm}{R^2}$;设矿井底部处的重力加速度为 g',等效"地球"的质量为 M',其半径 $r=R-d$,则矿井底部处的物体 m 受到的重力 $mg'=\frac{GM'm}{r^2}$,又 $M=\rho V=\frac{4}{3}\pi\rho R^3$,$M'=\rho V'=\frac{4}{3}\pi\rho(R-d)^3$,联立解得$\frac{g'}{g}=1-\frac{d}{R}$,选项 A 正确.



10. **答案**:D

解析:如果将该球形空腔填满密度为 ρ 的岩石,则该地区重力加速度便回到正常值,因此,如果将空腔填满,地面质量为 m 的物体的重力为 mg,没有填满时是 kmg,故空腔填满后引起的引力为$(1-k)mg$;由万有引力定律,有:$(1-k)mg=\frac{G\rho Vm}{d^2}$,解得:$V=\frac{(1-k)gd^2}{G\rho}$,选项 D 正确.

11. **答案**:D

解析:卫星围绕地球运行时,万有引力提供向心力,对于东方红一号,在远地点时有$\frac{GMm_1}{(R+h_1)^2}=m_1a_1$,即$a_1=\frac{GM}{(R+h_1)^2}$,对于东方红二号,有$\frac{GMm_2}{(R+h_2)^2}=m_2a_2$,即$a_2=\frac{GM}{(R+h_2)^2}$,由于$h_2>h_1$,故$a_1>a_2$,东方红二号卫星与地球自转的角速度相等,由于东方红二号做圆周运动的轨道半径大于地球赤道上物体做圆周运动的半径,根据$a=r\omega^2$,故$a_2>a_3$,所以$a_1>a_2>a_3$,选项 D 正确,选项 A、B、C 错误.

12. **答案**:B

解析:飞行试验器在 b 点不仅受到万有引力,还受大气层对它的阻力,合力指向轨迹弯曲方向,故合力向上,处于超重状态,不是完全失重状态,选项 A 错误;飞行试验器在 d 点的加速度$a=\frac{GM}{r^2}$,结合$g=\frac{GM}{R^2}$可得:$a=\frac{gR^2}{r^2}$,选项 B 正确;飞行试验器从 a 点到 c 点万有引力不做功,大气层对它的阻力做负功,由能量守恒可得:飞行试验器在 a 点的动能大于在 c 点的动能,飞行试验器在 a 点的速率大于在 c 点的速率,选项 C 错误;飞行试验器从 c 点到 e 点万有引力不做功,不受阻力,由能量守恒可得:飞行试验器在 c 点的动能等于在 e 点的动能,飞行试验器在 c 点的速率等于在 e 点的速率,选项 D 错误.

必修2　第五章　机械能

第一讲　功和功率

[章节练习]

1. **答案**:A

解析:由于大圆环是光滑的,因此小环下滑的过程中,大圆环对小环的作用力方向始终与速度方向垂直,因此作用力不做功,A 项正确,B 项错误;小环刚下滑时,大圆环对小环的作用力背离大圆环的圆心,滑到大圆环圆心以下的位置时,大圆环对小环的作用力指向大圆环的圆心,C、D 项错误.

2. **答案**:D

解析:由题图乙可知,在 5 ~ 10 s 内物块做匀速运动,故受到的摩擦力与水平推力相同,故摩擦力$f=F'=4\ \text{N}$,选项 A 错误;在 0 ~ 5 s 内物块的加速度为$a=\frac{\Delta v}{\Delta t}=\frac{5}{5}\ \text{m/s}^2=1\ \text{m/s}^2$,根据牛顿第二定律可得$F-f=ma$,解得$m=2\ \text{kg}$,选项 B 错误;在 0 ~ 10 s 内物块通过的位移为$x=\frac{1}{2}\times(5+10)\times5\ \text{m}=37.5\ \text{m}$,故克服摩擦力做功为$W_f=fx=4\times37.5\ \text{J}=150\ \text{J}$,选项 C 错误;撤去外力后物块产生的加速度为$a'=\frac{-f}{m}=-2\ \text{m/s}^2$,减速到零所需时间为$t'=\frac{0-5}{-2}\ \text{s}=2.5\ \text{s}<5\ \text{s}$,减速到零通过的位移为$x'=\frac{0-v^2}{2a'}=\frac{0-5^2}{2\times(-2)}\ \text{m}=6.25\ \text{m}$,选项 D 正确.

3. **答案**:C

解析:由能的转化与守恒可知:拉力的功率等于克服重力的功率,$P_F=P_G=mgv_y=mgv\cos 60°=\frac{1}{2}mgL\omega$,故选项 C 正确.

4. **答案**:A

解析:轻绳对滑块做的功为变力做功,可以通过转换研究对象,将变力做功转化为恒力做功;因轻绳对滑块做的功等于拉力 F 对轻绳做的功,而拉力 F 为恒力,$W=F\cdot\Delta L$,ΔL 为轻绳拉滑块过程中力 F 的作用点移动的位移,大小等于定滑轮左侧绳长的缩短量,由题图可知,$\Delta L_{AB}>\Delta L_{BC}$,故 $W_1>W_2$,选项 A 正确.

5. **答案**:B

解析:汽车匀速行驶时牵引力大小等于阻力,功率减小一半时,汽车的速度由于惯性来不及变化,根据功率和速度关系公式 $P=Fv$,牵引力减小一半,小于阻力,合力向后,汽车做减速运动,由公式 $P=Fv$ 可知,功率一定时,速度减小后,牵引力增大,合力减小,加速度减小,故汽车做加速度不断减小的减速运动,当牵引力增大到等于阻力时,加速度减为零,汽车重新做匀速直线运动,故选项 B 正确.

6. **答案**:BD

解析:启动时,乘客的加速度向前,车厢对人的作用力方向向前,与车运动的方向相同,选项 A 错误;以后面的车厢为研究对象,$F_{56}-3f=3ma$,$F_{67}-2f=2ma$,则 5、6 节与 6、7 节车厢间的作用力之比为 3∶2,选项 B 正确;根据 $v^2=2ax$,车厢停下来滑行的距离 x 与速度的二次方成正比,选项 C 错误;若改为 4 节动车,则功率变为原来 2 倍,由 $P=Fv$ 知,最大速度变为原来 2 倍,选项 D 正确.

7. **答案**:D

解析:拉力做功最小时,木块应做匀速运动,对木块 m 受力分析,由平衡条件可得 $F_T=\mu mg$. 对木板 M 受力分析,由平衡条件可得:$F=F_T+\mu mg$,又因当木块从木板右端拉向左端的过程中,木板向右移动的位移 $x=\frac{1}{2}L$,故拉力 F 所做的功 $W=Fx=\mu mgL$,或者根据能量守恒定律求解,在木块运动到木板左端的过程,因摩擦产生热量为 μmgL,选项 D 正确.

8. **答案**:CD

解析:由题图可知,加速度变化,故赛车做变加速直线运动,故 A 错误;$a-\frac{1}{v}$ 函数方程为 $a=\frac{400}{v}-4$,汽车加速运动,速度增大,加速度减小,故 B 错误;对汽车受力分析,受重力、支持力、牵引力和摩擦力,根据牛顿第二定律,有:$F-f=ma$,其中:$F=\frac{P}{v}$,联立得:$a=\frac{P}{mv}-\frac{f}{m}$,结合图线,当物体的速度最大时,加速度为零,故结合图象可以知道,$a=0$ 时,$\frac{1}{v}=0.01$,$v=100$ m/s,所以最大速度为 100 m/s. 由图象可知:$-\frac{f}{m}=-4$,解得:$f=4m=4\times400$ N $=1\ 600$ N,$0=\frac{1}{400}\times\frac{P}{100}-\frac{f}{400}$,解得:$P=160$ kW,故 C、D 正确.

9. **答案**:BC

解析:开始系统处于静止状态,弹簧弹力等于 A 的重力沿斜面向下的分力,即:$m_1g\sin\theta=kx_1$;当 B 刚离开 C 时,弹簧的弹力等于 B 的重力沿斜面向下的分力,故 $m_2g\sin\theta=kx_2$,$d=x_1+x_2$,$kd=(m_1+m_2)g\sin\theta$,故 $kd>m_2g\sin\theta$,故 A 错误;物块 A 的加速度 $a=\frac{F-kx_2-m_1g\sin\theta}{m_1}=\frac{F-m_2g\sin\theta-m_1g\sin\theta}{m_1}=\frac{F-kd}{m_1}$,故 B 正确;由于速度 v 与重力夹角不为零,故重力的瞬时功率等于 $P=m_1gv\sin\theta=(kd-m_2g\sin\theta)v$,故 C 正确;当物块 B 刚要离开 C 时,弹簧的弹力为 $m_2g\sin\theta$,则弹力对物块 A 做功的功率为 $m_2gv\sin\theta$,故 D 错误.

10. **答案**:D

解析:0~20 s 乙车的位移大小为 $x_乙=100$ m,对甲车由动能定理可得:$Pt_1-fx_甲=\frac{1}{2}mv_m^2-0$,结合 $t_1=20$ s,$f=\frac{P}{v_m}$,解得:$x_甲=125$ m,设再经过 t_2 乙车追上甲车,由位移关系可得:$x_甲+v_甲t_2=\frac{1}{2}a_乙(t_1+t_2)^2$,解得:$t_2=10$ s,则乙车追上甲车的时间是 $t=t_1+t_2=30$ s,选项 D 正确.

11. **答案**:75 W

解析:跳跃的周期 $T=\frac{60}{180}\ \text{s}=\frac{1}{3}\ \text{s}$,

每个周期内在空中停留的时间 $t_1=\frac{3}{5}T=\frac{1}{5}\ \text{s}$,

运动员跳起时视为做竖直上抛运动,运动员上升过程的时间为 $t_2=\frac{1}{2}t_1=\frac{1}{10}\ \text{s}$,

每次跳跃运动员上升的最大高度为 $h_m=\frac{1}{2}gt_2^2=\frac{1}{20}\ \text{m}$,

每次跳跃人克服重力做的功为 $W=mgh_m=25$ J,

克服重力做功的平均功率为 $\overline{P}=\frac{W}{T}=\frac{25}{\frac{1}{3}}\ \text{W}=75\ \text{W}$.

12. **答案**:(1)见解析 (2)20 m/s (3)2 m/s²

解析:(1)题图中图线 AB 段牵引力 F 不变,阻力 f 不变,汽车做匀加速直线运动,图线 BC 的斜率表示汽车的功率 P,P 不变,则汽车做加速度减小的加速运动,直至达到最大速度 v_2,此后汽车做匀速直线运动.

(2)当汽车的速度为 v_2 时,汽车受到的牵引力等于汽车受到的阻力,即:

$F_1=1\times10^3\ \text{N}=f$,$v_2=\frac{P_m}{F_1}=\frac{2\times10^4}{1\times10^3}\ \text{m/s}=20\ \text{m/s}$.

(3)汽车做匀加速直线运动时的加速度最大,即

$F_m-f=ma_m$

解得:$a_m=2\ \text{m/s}^2$.

第二讲　动能定理

[章节练习]

1. **答案**:C

解析:对全过程运用动能定理,结合摩擦力做功的大小,求出动摩擦因数大小.设 AB 的水平长度为 x,竖直高度差为 h,对物块由 A 到 B 的过程运用动能定理得 $mgh-\mu mg\cos\alpha\cdot AC-\mu mg\cdot CE-\mu mg\cos\beta\cdot EB=0$,因为 $AC\cdot\cos\alpha+CE+EB\cdot\cos\beta=x$,则有 $mgh-\mu mgx=0$,解得 $\mu=\dfrac{h}{x}=\tan\theta$,故 C 正确.

2. **答案**:B

解析:$F-x$ 图象与 x 轴围成的面积表示外力所做的功,由题图可知:$W=(2\times2+4\times4-3\times2)\ \text{J}=14\ \text{J}$,根据动能定理得:$W=\dfrac{1}{2}mv^2-\dfrac{1}{2}mv_0^2$,解得:$v=\sqrt{23}\ \text{m/s}$,故 B 正确.

3. **答案**:AB

解析:由于通过两次击打,小球才能运动到圆轨道的最高点,且小球始终未脱离轨道,所以第一次击打小球后,小球运动的高度不能超过 R,则有:$W_1\leqslant mgR$;由于第二次击打后小球能运动到最高点,则有:$W_1+W_2=2mgR+\dfrac{1}{2}mv^2$,在最高点:$N+mg=\dfrac{mv^2}{R}$,$N\geqslant0$,可得:$W_1+W_2\geqslant\dfrac{5}{2}mgR$,可得:$W_2\geqslant\dfrac{3}{2}mgR$,$\dfrac{W_1}{W_2}\leqslant\dfrac{2}{3}$,故选项 A 和 B 正确.

4. **答案**:A

解析:小球在地球表面做竖直面内的圆周运动,小球在最高点的速度为 v_1,小球在最低点的速度为 v_2,绳长为 L,由于小球恰好能完成整个圆周运动,在最高点小球的重力提供向心力,即:$mg=\dfrac{mv_1^2}{L}$,在最低点:$F-mg=\dfrac{mv_2^2}{L}$,由动能定理可得:$2mgL=\dfrac{1}{2}mv_2^2-\dfrac{1}{2}mv_1^2$,可得:$F=6mg$;同理可得:在月球表面 $F'=6mg'$,结合 $g=\dfrac{GM}{R^2}$,$g'=\dfrac{GM'}{R'^2}$和题意可得:在地球上和月球上细绳对小球的拉力大小之比为$\dfrac{F}{F'}=\dfrac{g}{g'}=\dfrac{b^2}{a}$,选项 A 正确.

5. **答案**:ABC

解析:在大小为 12 N 的水平拉力 F 的作用下做匀速直线运动,$F=\mu mg$,解得:$\mu=0.2$,选项 A 正确;由 $F-x$ 图象可得:图象和坐标轴所围的"面积"的大小表示 F 做的功,在 0~7 m 内 F 做的功为 $W_F=\dfrac{(7+2.5)\times12}{2}\ \text{J}=57\ \text{J}$,摩擦力做的功为 $W_f=-fs=-84\ \text{J}$,合外力对物体所做的功为 $W_合=W_F+W_f=-27\ \text{J}$,选项 B 正确;由动能定理可得:$W_合=-27\ \text{J}=0-\dfrac{1}{2}mv_0^2$,解得:$v_0=3\ \text{m/s}$,选项 C 正确;物体在减速阶段拉力做功为 $W=\dfrac{12}{2}(7-2.5)\ \text{J}=27\ \text{J}$,选项 D 错误.

6. **答案**:B

解析:小球 A 下降 h 过程中小球克服弹簧弹力做功为 W_1,根据动能定理,有 $mgh-W_1=0$;小球 B 下降过程,由动能定理有 $3mgh-W_1=\frac{1}{2}\times3mv^2-0$,解得:$v=\sqrt{\frac{4gh}{3}}$,故 B 正确.

7. **答案**:B

解析:外力 F 做的功等于 A、B 动能的增量与 A、B 间摩擦产生的内能之和,A 错误;A 物体所受的合外力等于 B 对 A 的摩擦力,对 A 物体运用动能定理,则有 B 对 A 的摩擦力所做的功等于 A 的动能的增量,即选项 B 正确;A 对 B 的摩擦力与 B 对 A 的摩擦力是一对作用力与反作用力,大小相等,方向相反,但是由于 A 在 B 上滑动,A、B 对地的位移不等,故二者做功不相等,C 错误;对 B 应用动能定理,$W_F-W_f=\Delta E_{kB}$,即 $W_F=W_f+\Delta E_{kB}$,就是外力 F 对 B 做的功,等于 B 的动能增量与 B 克服摩擦力所做的功之和,D 错误.

8. **答案**:C

解析:设质点到达 N 点的速度为 v_N,在 N 点质点受到轨道的弹力为 F_N,则 $F_N-mg=\frac{mv_N^2}{R}$,已知 $F_N=F_N'=4mg$,则质点到达 N 点的动能为 $E_{kN}=\frac{1}{2}mv_N^2=\frac{3}{2}mgR$. 质点由开始至 N 点的过程,由动能定理得 $mg\cdot2R+W_f=E_{kN}-0$,解得摩擦力做的功为 $W_f=-\frac{1}{2}mgR$,即克服摩擦力做的功为 $W=-W_f=\frac{1}{2}mgR$. 设从 N 到 Q 的过程中克服摩擦力做功为 W',则 $W'<W$. 从 N 到 Q 的过程,由动能定理得 $-mgR-W'=\frac{1}{2}mv_Q^2-\frac{1}{2}mv_N^2$,即 $\frac{1}{2}mgR-W'=\frac{1}{2}mv_Q^2$,故质点到达 Q 点后速度不为 0,质点继续上升一段距离. 选项 C 正确.

9. **答案**:B

解析:当推力小于摩擦力时物体就开始做减速运动,选项 A 错误;题图乙中图线与 x 轴所围面积表示推力对物体做的功,可得推力做的功 $W=\frac{1}{2}\times4\times100\ \text{J}=200\ \text{J}$,根据动能定理有 $W-\mu mgx_m=0$,得 $x_m=10\ \text{m}$,选项 B 正确;当推力与摩擦力平衡时,加速度为零,速度最大,由题图乙得 $F=100-25x(\text{N})$,当 $F=\mu mg=20\ \text{N}$ 时 $x=3.2\ \text{m}$,由动能定理得:$\frac{1}{2}\times(100+20)x-\mu mgx=\frac{1}{2}mv_m^2-0$,解得物体运动的最大速度 $v_m=8\ \text{m/s}$,选项 C 错误;物体运动中当推力由 100 N 减小到 20 N 的过程中,加速度逐渐减小,当推力由 20 N 减小到零的过程中,加速度又反向增大,此后加速度不变,故 D 项错误.

10. **答案**:C

解析:A 球向右运动 0.1 m 时,$v_A=3\ \text{m/s}$,$OA'=0.4\ \text{m}$,$OB'=0.3\ \text{m}$,设此时 $\angle B'A'O=\alpha$,则有 $\tan\alpha=\frac{3}{4}$. 由运动的合成与分解可得 $v_A\cos\alpha=v_B\sin\alpha$,解得 $v_B=4\ \text{m/s}$. 以 B 球为研究对象,此过程中 B 球上

升高度 $h=0.1\ m$,由动能定理得:$W-mgh=\frac{1}{2}mv_B^2$,解得轻绳的拉力对 B 球所做的功为 $W=mgh+\frac{1}{2}mv_B^2=2\times10\times0.1\ J+\frac{1}{2}\times2\times4^2\ J=18\ J$,选项 C 正确.

11. **答案**:ACD

解析:由摩擦力做功的图象可知,$W_f=\mu mgx=20\ J$,解得:$\mu=0.2$,选项 A 正确;由 $f=\mu mg=2\ N$,$W_f=fx=27\ J$,可得:$x=13.5\ m$,选项 B 错误;又 $W_F=Fx$,可解得:前3 m 内,$F=\frac{15}{3}\ N=5\ N$,由 $F-f=ma$ 可得:$a=3\ m/s^2$,选项 C 正确;由动能定理可得:$W_F-fx=\frac{1}{2}mv^2$,解得:$x=9\ m$ 时物体的速度 $v=3\sqrt{2}\ m/s$,选项 D 正确.

12. **答案**:B

解析:滑块到达圆环顶点 C 时对轨道压力为零,由牛顿第二定律得 $mg=\frac{mv_C^2}{r}$,得速度 $v_C=\sqrt{rg}$,设滑块在 BEC 段上克服摩擦力做的功为 W_1,由动能定理得 $mg(H-2r)-W_1=\frac{1}{2}mv_C^2-0$,则 $W_1=mg(H-2r)-\frac{1}{2}mv_C^2=mg\left(H-\frac{5}{2}r\right)$,滑块在 CFB 段克服摩擦力做的功为 W_2 满足 $0<W_2<W_1$,从 C 到 D,由动能定理得 $-W_2-mg(h-2r)=0-\frac{1}{2}mv_C^2$,代入得 $8\ m<h<10\ m$,选项 B 正确.

13. **答案**:B

解析:当环受到的合力向下时,随着环做减速运动,向上的力 F 逐渐减小,环最终将静止;当环所受合力向上时,随着环速度的减小,竖直向上的力 F 逐渐减小,当环向上的拉力减至和重力大小相等时,环所受合力为零,杆不再给环阻力,环将保持此时速度不变做匀速直线运动;当环在竖直方向所受合力为零时,环将一直做匀速直线运动,分三种情况应用动能定理求出阻力对环做的功即可. 当 $F=kv_0=mg$ 时,圆环不受杆的支持力和摩擦力,克服摩擦力做的功为零;当 $F=kv_0<mg$ 时,圆环做减速运动到静止,只有摩擦力做功,根据动能定理得 $-W=0-\frac{1}{2}mv_0^2$,得 $W=\frac{1}{2}mv_0^2$;当 $F=kv_0>mg$ 时,圆环先做减速运动,当 $F=mg$ 时,圆环不受摩擦力,做匀速直线运动,由 $F=kv=mg$ 得 $v=\frac{mg}{k}$,根据动能定理得 $-W=\frac{1}{2}mv^2-\frac{1}{2}mv_0^2$,解得 $W=\frac{1}{2}mv_0^2-\frac{m^3g^2}{2k^2}$,综上所述,答案为 B.

14. **答案**:(1)$\frac{h}{L}$　(2)不过原点　$\frac{1}{k}$

解析:(1)设圆弧轨道的轨道半径为 R,从 A 点到 a 点由动能定理可得:$mgR-\mu mg\times Oa=0$;从 B 点到 b 点由动能定理可得:$mg(R+h)-\mu mg\times Ob=0$;$ab=L$,可得:$mgh-\mu mgL=0$,解得:$\mu=\frac{h}{L}$.

(2)由动能定理可得:$mg(R+h)-\mu mgx=0$,可得:$x=\frac{1}{\mu}h+\frac{R}{\mu}$,作出 $x-h$ 图象,则作出的图象应该是不过原点;图线的斜率为 k,即$\frac{1}{\mu}=k$,$\mu=\frac{1}{k}$.

15. **答案**:(1)120 W　(2)0.02 m

解析:(1)撤去 F 前,根据动能定理有:

$(F-mg)h=E_k-0$

由题图乙得,斜率 $k=\frac{20}{1}=20$. 即 $F-mg=20$ N,得 $F=30$ N

又由题图乙得,$h=0.4$ m 时,$E_k=8$ J

则 $v=4$ m/s,$P=Fv=120$ W.

(2)碰撞后,对钉子有:$-\overline{F}_f x'=0-E_k'$

已知 $E_k'=20$ J,$\overline{F}_f=\frac{k'x'}{2}$

又由题图丙得 $k'=10^5$ N/m,解得:$x'=0.02$ m.

16. **答案**:(1)$\theta=37°$　(2)$s=0.25$ m

解析:(1)设动摩擦因数为 μ,当 BD 水平时,研究物块的运动,根据动能定理得 $W_{总}=\Delta E_k$

从 A 到 D 的过程中 $mgR(1-\cos 37°)-\mu mgL=0$

代入数据联立解得 $\mu=0.5$

当 BD 以 B 为轴向上转动一个锐角 θ 时,从 A 到 C 的过程中,根据动能定理得

$mgR(1-\cos 37°)-mg\frac{L}{2}\sin\theta-\mu F_N\frac{L}{2}=0$

其中 $F_N=mg\cos\theta$

联立解得 $\theta=37°$.

(2)物块在 C 处速度减为零后,由于 $mg\sin\theta>\mu mg\cos\theta$ 物块将会下滑,而 AB 段光滑,故物块将做往复运动,直到停止在 B 点.

根据能量守恒定律 $mgR(1-\cos 37°)=Q$

而摩擦产生的热量 $Q=fs$,$f=\mu mg\cos\theta$

代入数据解得,物块在 BD 板上的总路程 $s=0.25$ m.

第三讲　机械能守恒定律及其应用

[章节练习]

1. **答案**:C

解析:恰能做圆周运动,则在最高点有 $mg=\frac{mv^2}{R}$,解得:$v=\sqrt{gR}$.

由机械能守恒定律可知:$2mgR=\frac{1}{2}mv_0^2-\frac{1}{2}mv^2$,

解得初速度 $v_0=\sqrt{5gR}$,根据机械能守恒,在最高点 N 的速度为 v',则:

$\frac{3}{2}mgR=\frac{1}{2}mv_0^2-\frac{1}{2}mv'^2$

根据向心力公式：$T+mg=\frac{mv'^2}{\frac{R}{2}}$，

联立得 $T=3mg$，故选项 C 正确.

2. **答案**：ACD

解析：若小球能通过最高点，则由 $mg=\frac{mv_{min}^2}{r}$，可求得小球通过最高点的最小速度 $v_{min}=\sqrt{rg}=2\ m/s$，由机械能守恒定律得：$2mgr+\frac{1}{2}mv_{min}^2=\frac{1}{2}mv_0^2$，解得 $v_0=2\sqrt{5}\ m/s$；若小球不通过四分之一圆周，根据机械能守恒定律得：$mgr=\frac{1}{2}mv_0^2$，得出 $v_0=2\sqrt{2}\ m/s$，所以 $v_0\geqslant 2\sqrt{5}\ m/s$ 或 $0<v_0\leqslant 2\sqrt{2}\ m/s$ 均符合要求，故 A、C、D 正确，B 错误.

3. **答案**：D

解析：设小球在最低点速度为 v_1，在最高点速度为 v_2，根据牛顿第二定律，在最低点：$N_1-mg=\frac{mv_1^2}{R}$，

在最高点：$N_2+mg=\frac{mv_2^2}{R}$

同时从最高点到最低点，根据机械能守恒定律得

$2mgR=\frac{1}{2}mv_1^2-\frac{1}{2}mv_2^2$

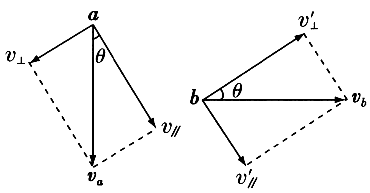
联立以上三式可得 $N_1-N_2=6mg$，故选项 D 正确.

4. **答案**：CD

解析：初始位置，球 1 加速度向上，超重，球 2 加速度向下，失重，故球 1 受到的拉力较大，故 A 错误；球 1 在最高点有：$F_1+mg=\frac{mv_1^2}{R}$，球 2 在最低点有：$F_2-mg=\frac{mv_2^2}{R}$，两个球运动过程中机械能守恒，对球 1：$\frac{1}{2}mv^2=\frac{1}{2}mv_1^2+2mgR$，对球 2：$\frac{1}{2}mv^2=\frac{1}{2}mv_2^2-2mgR$，联立解得：$F_1=\frac{mv^2}{R}-5mg$，$F_2=\frac{mv^2}{R}+5mg$，故 $F_2-F_1=10mg$，故 B 错误，C 正确；两个球运动过程中机械能守恒，而初始位置两个球的机械能相等，故两个球的机械能一直是相等的，故 D 正确.

5. **答案**：BD

解析：由题意知，系统机械能守恒. 设某时刻 a、b 的速度分别为 v_a、v_b. 此时刚性轻杆与竖直杆的夹角为 θ，分别将 v_a、v_b 分解，如图所示. 因为刚性杆不可伸长，所以沿杆的分速度 $v_{//}$ 与 $v'_{//}$ 是相等的，即 $v_a\cos\theta=v_b\sin\theta$. 当 a 滑至地面时 $\theta=90°$，此时 $v_b=0$，由系统机械



能守恒得 $mgh=\frac{1}{2}mv_a^2$，解得 $v_a=\sqrt{2gh}$，选项 B 正确；同时由于 b 初、末速度均为零，运动过程中其动能先增大后减小，即杆对 b 先做正功后做负功，选项 A 错误；杆对 b 的作用先是推力后是拉力，对 a 则先是阻力后是动力，即 a 的加速度在受到杆的向下的拉力作用时大于 g，选项 C 错误；b 的动能最大时，杆对 a、b 的作用力为零，此时 a 的机械能最小，b 只受重力和支持力，所以 b 对地面的压力大小为 mg，选项 D 正确. 正确选项为 B、D.

6. **答案**：BD

解析：a、b 两球和轻杆组成的系统只发生着动能、重力势能之间的转化，a、b 两球和轻杆组成的系统在下滑过程中机械能保持不变，选项 B 正确；由机械能守恒可得：$mgR+2mgR=\frac{1}{2}\times 2mv^2-0$，解得：$v=\sqrt{3gR}$，选项 C 错误；对 a 由动能定理可得：$mgR+W_a=\frac{1}{2}mv^2-0$，解得：$W_a=\frac{1}{2}mgR$，选项 D 正确；根据"除去重力对物体做功外，其他力对物体做功的代数和等于物体的机械能的变化"可得：整个过程中轻杆对 a 球做正功，a 球的机械能增大，根据系统的机械能守恒，b 球的机械能减少，选项 A 错误.

7. **答案**：CD

解析：物块受力平衡时具有最大速度，即：$mg\sin\theta=k\Delta x$，则质量大的物块具有最大速度时弹簧的压缩量比较大，上升的高度比较低，即位移小，而运动过程中质量大的物块平均加速度较小，$v^2-0=2ax$ 加速度小的位移小，则最大速度 v 较小，故 A 错误；开始时物块具有最大加速度，弹簧形变量相同，则弹力相同，根据牛顿第二定律：$a=\frac{F-mg\sin\theta}{m}$可见质量大的最大加速度较小，故 B 错误；由题意知，使两弹簧具有相同的压缩量，则储存的弹性势能相等，物块上升到最大高度时，弹性势能完全转化为重力势能，则物块最终的重力势能 mgh 相等，重力势能的变化量相等，而两物块质量不同，则上升的最大高度不同，故 C、D 正确.

8. **答案**：AB

解析：设 K 与 O 点的距离为 x，则根据机械能守恒有 $mgL=\frac{1}{2}mv_0^2$，若恰能完成完整的圆周运动，则$\frac{1}{2}mv_0^2=2mg(L-x)+\frac{1}{2}mv^2$，且 $mg=\frac{mv^2}{L-x}$，整理得 $x=\frac{3}{5}L$，因此 K 与 O 点的距离至少为$\frac{3}{5}L$，因此 A、B 正确，C、D 错误.

9. **答案**：D

解析：物体沿斜面升高 h 时，速度为零，即动能全部转化为势能. 当斜面锯断时，物体做斜抛运动，达最高点时速度不为零，而物体沿圆弧到达最高点时速度也不为零，即动能没有全部转化为势能，故物体都不能再升高 h. 但都是只有重力做功，综上所述 D 项正确，A、B、C 选项错误.

10. **答案**:B

解析:C 刚离开地面时,对 C 有 $kx_2=mg$,此时 B 有最大速度,即 $a_B=a_C=0$,则对 B 有 $T-kx_2-mg=0$,对 A 有 $4mg\sin\alpha-T=0$,以上方程联立可解得 $\sin\alpha=\frac{1}{2}$,$\alpha=30°$,故 A 错误;初始系统静止,且线上无拉力,对 B 有 $kx_1=mg$,可知 $x_1=x_2=\frac{mg}{k}$,则从释放 A 至 C 刚离开地面过程中,弹性势能变化量为零,此过程中 A、B、C 组成的系统机械能守恒,即 $4mg(x_1+x_2)\sin\alpha=mg(x_1+x_2)+\frac{1}{2}(4m+m)v_{Bm}^2$,以上方程联立可解得 $v_{Bm}=2g\sqrt{\frac{m}{5k}}$,所以 A 获得的最大速度为 $2g\sqrt{\frac{m}{5k}}$,故 B 正确;对 B 球进行受力分析可知,刚释放 A 时,B 所受合力最大,此时 B 具有最大加速度,故 C 错误;从释放 A 到 C 刚离开地面的过程中,A、B、C 及弹簧组成的系统机械能守恒,故 D 错误.

11. **答案**:B

解析:设轨道半径为 R,小物块从轨道上端飞出时的速度为 v_1,由于轨道光滑,根据机械能守恒定律有 $mg\times2R=\frac{1}{2}mv^2-\frac{1}{2}mv_1^2$,小物块从轨道上端飞出后做平抛运动,对运动分解有:$x=v_1t$,$2R=\frac{1}{2}gt^2$,求得 $x=\sqrt{-16\left(R-\frac{v^2}{8g}\right)^2+\frac{v^4}{4g^2}}$,因此当 $R-\frac{v^2}{8g}=0$,即 $R=\frac{v^2}{8g}$时,x 取得最大值,B 项正确,A、C、D 项错误.

12. **答案**:A

解析:在 b 球落地前,a、b 两球组成的系统机械能守恒,且 a、b 两球速度大小相等,设为 v,根据机械能守恒定律有:$3mgh=mgh+\frac{1}{2}(3m+m)v^2$,解得:$v=\sqrt{gh}$,故 A 正确.

13. **答案**:BCD

解析:小球在从 M 点运动到 N 点的过程中,弹簧的压缩量先增大,后减小,到某一位置时,弹簧处于原长,再继续向下运动到 N 点的过程中,弹簧又伸长. 弹簧的弹力方向与小球速度的方向的夹角先大于 90°,再小于 90°,最后又大于 90°,因此弹力先做负功,再做正功,最后又做负功,A 项错误;弹簧与杆垂直时,小球的加速度等于重力加速度,当弹簧的弹力为零时,小球的加速度也等于重力加速度,B 项正确;弹簧长度最短时,弹力与小球的速度方向垂直,这时弹力对小球做功的功率为零,C 项正确;由于在 M、N 两点处,弹簧的弹力大小相等,即弹簧的形变量相等,根据动能定理可知,小球从 M 点到 N 点的过程中,弹簧的弹力做功为零,重力做功等于动能的增量,即小球到达 N 点时的动能等于其在 M、N 两点的重力势能差,D 项正确.

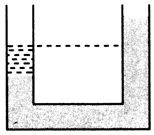
14. **答案**:C

解析:小球从释放到最低点的过程中,只有重力做功,由机械能守恒定律可知,$mgL=\frac{1}{2}mv^2$,$v=\sqrt{2gL}$,绳长 L 越长,小球到最低点时的速度越大,A 项错误;由于 P 球的质量大于 Q 球的质量,由 $E_k=\frac{1}{2}mv^2$

可知,不能确定两球动能的大小关系,B 项错误;在最低点,根据牛顿第二定律可知,$F-mg=m\dfrac{v^2}{L}$,求得 $F=3mg$,由于 P 球的质量大于 Q 球的质量,因此 C 项正确;由 $a=\dfrac{v^2}{L}=2g$ 可知,两球在最低点的向心加速度相等,D 项错误.

15. **答案:**A

解析:当两液面高度相等时,减少的重力势能转化为整个液体的动能,如图所示,根据功能关系有 $\dfrac{1}{8}mg\times\dfrac{1}{2}h=\dfrac{1}{2}mv^2$,解得:$v=\sqrt{\dfrac{1}{8}gh}$,故 A 正确.



16. **答案:**$0\leqslant\alpha\leqslant30°$

解析:小球在倾斜平板上运动时受到绳子拉力、平板弹力、重力作用. 在垂直平板方向上合力为零,重力在沿平板方向的分力为 $mg\sin\alpha$

小球在最高点时,由绳子的拉力和重力沿平板方向的分力的合力提供向心力,有

$$F_T+mg\sin\alpha=\frac{mv_1^2}{L} \quad ①$$

研究小球从释放到最高点的过程,根据动能定理得

$$-mgL\sin\alpha=\frac{1}{2}mv_1^2-\frac{1}{2}mv_0^2 \quad ②$$

若恰好能通过最高点,则绳子拉力 $F_T=0$ N ③

联立①②③解得 $\sin\alpha=\dfrac{1}{2}$,解得 $\alpha=30°$

故 α 的范围为 $0\leqslant\alpha\leqslant30°$.

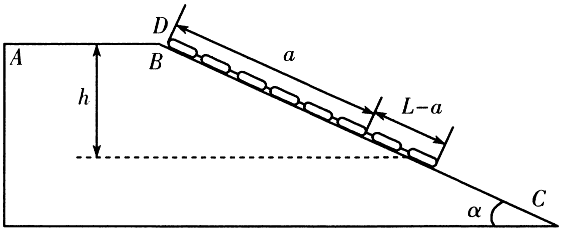
17. **答案:**(1)守恒 理由见解析 (2)$\sqrt{\dfrac{g}{L}(L^2-a^2)\sin\alpha}$

解析:(1)链条在下滑过程中机械能守恒,因为斜面 BC 和水平面 AB 均光滑,链条下滑时只有重力做功,符合机械能守恒的条件.

(2)设链条质量为 m,可以认为始、末状态的重力势能变化是由 $(L-a)$ 段下降引起的,

高度减少量 $h=\left(a+\dfrac{L-a}{2}\right)\sin\alpha=\dfrac{L+a}{2}\sin\alpha$

该部分的质量为 $m'=\dfrac{m}{L}(L-a)$



由机械能守恒定律可得:$\dfrac{m}{L}(L-a)gh=\dfrac{1}{2}mv^2$,

可解得:$v=\sqrt{\dfrac{g}{L}(L^2-a^2)\sin\alpha}$.

18. **答案**:(1)0.2 m　(2)45°

解析:(1)小球经过 D 点时,满足竖直方向的合力提供圆周运动的向心力,即:$F+mg=\frac{mv^2}{R}$

从 A 到 D 的过程中只有重力做功,根据机械能守恒定律有:$mg(H-2R)=\frac{1}{2}mv^2-0$

联立解得:$F=\frac{2mg}{R}\times H-5mg$

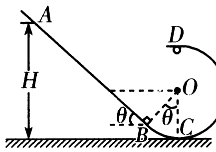
由题中给出的 $F-H$ 图象知斜率

$k=\frac{5-0}{1.0-0.5}$

即$\frac{2mg}{R}=10\ \text{N/m}$

所以可得 $R=0.2\ \text{m}$.

(2)小球离开 D 点做平抛运动,根据几何关系知,小球落地点越低平抛的射程越小,即题设中小球落地点位置最低对应小球离开 D 点时的速度最小.



根据临界条件知,小球能通过 D 点时的最小速度为 $v=\sqrt{gR}$

小球在斜面上的落点与圆心等高,故可知小球平抛时下落的距离为 R

所以小球平抛的射程 $s=vt=v\sqrt{\frac{2R}{g}}=\sqrt{gR}\times\sqrt{\frac{2R}{g}}=\sqrt{2}R$

由几何关系可知,角 $\theta=45°$.

19. **答案**:(1)30 N　(2)20 cm　(3)1 m/s

解析:(1)弹簧恢复原长时,物体 A、B 的加速度大小相同,

对 B 分析:$mg-T=ma$

对 A 分析:$T'-mg\sin 30°=ma$

$T'=T$

代入数据解得:$T=30\ \text{N}$.

(2)初始位置,弹簧的压缩量为:$x_1=\frac{mg\sin 30°}{k}=10\ \text{cm}$,

当物体 A 速度最大时,即物体 A 的加速度为零,对物体 A 分析有:$mg=kx_2+mg\sin 30°$

弹簧的伸长量为:$x_2=10\ \text{cm}$

所以物体 A 沿斜面上升的距离为:$x=x_1+x_2=20\ \text{cm}$.

(3)因为 $x_1=x_2$,所以弹簧的弹性势能没有改变,由系统机械能守恒得:

$mg(x_1+x_2)-mg(x_1+x_2)\sin 30°=\frac{1}{2}(m+m)v^2$

解得:$v=1\ \text{m/s}$.

第四讲　功能关系及其应用

［章节练习］

1. **答案**：CD

解析：根据滑块与斜面间的动摩擦因数 $\mu=\tan\theta$ 可知，滑动摩擦力等于重力沿斜面向下的分力. 施加一沿斜面向上的恒力 $F=mg\sin\theta$，滑块机械能保持不变，重力势能随位移 x 均匀增大，选项 C、D 正确；产生的热量 $Q=fx$，随位移均匀增大，滑块动能 E_k 随位移 x 均匀减小，选项 A、B 错误.

2. **答案**：A

解析：QM 段绳的质量为 $m'=\frac{2}{3}m$，未拉起时，QM 段绳的重心在 QM 中点处，与 M 点距离为 $\frac{1}{3}l$，绳的下端 Q 拉到 M 点时，QM 段绳的重心与 M 点距离为 $\frac{1}{6}l$，此过程重力做功 $W_G=-m'g\left(\frac{1}{3}l-\frac{1}{6}l\right)=-\frac{1}{9}mgl$，对绳的下端 Q 拉到 M 点的过程，应用动能定理，可知外力做功 $W=-W_G=\frac{1}{9}mgl$，可知 A 项正确，B、C、D 项错误.

3. **答案**：D

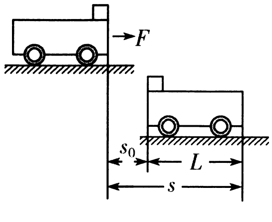
解析：由题图直线 a 可知，电动车的动能 E_k 与滑行位移 x 呈线性关系，第一次关闭自动充电装置自由滑行 10 m 停止，第二次启动自动充电装置时只滑行了 6 m，所以第二次充电的电能相当于滑行 4 m 所需要的能量，即 $\Delta E=\frac{4}{10}\times5\ \text{kJ}=2\ \text{kJ}$，故 D 正确.

4. **答案**：BD

解析：将物块从 O 点拉至 A 点，撤去拉力后物块由静止向上运动，当弹簧对物块沿斜面向上的弹力等于物块重力沿斜面的分力和滑动摩擦力之和时，合力为零，物块的动能最大. 由此可知，物块经过 A、O 之间某一位置时，物块的动能最大，选项 A 错误；物块动能最大的位置与 AO 的距离无关，选项 B 正确；由功能关系可知，物块从 A 向 O 运动过程中，弹性势能的减少量等于动能与重力势能的增加量加上克服摩擦力做功产生的热量，选项 C 错误；物块从 O 向 B 运动过程中，动能的减少量等于增加的重力势能与弹性势能加上克服摩擦力做功产生的热量，即动能的减少量大于弹性势能的增加量，选项 D 正确.

5. **答案**：A

解析：系统运动过程的示意图如图所示，系统产生的内能应为滑动摩擦力乘以物体间的相对位移，即 fL，故 A 正确；根据功能关系，外力对系统做的功应等于系统产生的内能与机械能增量之和，即 $Fs=\Delta E_{总}+fL$，故 B 错误；根据动能定理，合外力对物块做的功等于物块增加的动能，即 $f(s-L)$，故 C 错误；根据动能定理，合外力对小车做的功等于小车动能的增量，即 $Fs-fs=\Delta E_{k车}$，故 D 错误.



6. **答案**:D

解析:拉力竖直向上,与物体的位移方向相同,则拉力对物体做正功,由功能关系知物体的机械能增加,故 A、B 错误;由匀变速运动的速度位移关系公式 $v^2-v_0^2=2ah$ 得:$v^2=v_0^2+2ah$,由数学知识可知,v^2-h 图象的斜率等于 $2a$,直线的斜率一定,则知物体的加速度 a 一定,因此物体向上做匀减速直线运动,由牛顿第二定律知拉力恒定. 由功能关系知:$F\Delta h=\Delta E$,即得$\frac{\Delta E}{\Delta h}=F$,所以 $E-h$ 图象的斜率等于拉力 F,F 一定,因此 $E-h$ 图象应是向上倾斜的直线,故 C 错误,D 正确.

7. **答案**:C

解析:由于 F_1、F_2 对 m、M 都做正功,故系统机械能增加,则系统机械能不守恒,故 A 错误;当弹簧弹力大小与 F_1、F_2 大小相等时,M 和 m 受力平衡,加速度减为零,此时速度达到最大值,故各自的动能最大,F_1 和 F_2 可继续对系统做功,系统机械能还可以继续增大,故此时系统机械能不是最大,故 B 错误;在运动的过程中,根据除重力和弹簧弹力以外的力对系统做的功等于系统机械能的变化量可知,m、M 动能的变化量加上弹簧弹性势能的变化量等于 F_1、F_2 做功的代数和,故 C 正确;由于不知道 M 和 m 质量大小的关系,所以不能判断最大速度的大小,故 D 错误.

8. **答案**:C

解析:由能量转化和守恒定律可知,力 F 对木板所做的功 W 一部分转化为物体 m 的动能,一部分转化为系统内能,故 $W=\frac{1}{2}mv^2+\mu mg\Delta x_{相}$,$\Delta x_{相}=vt-\frac{v}{2}t=\frac{vt}{2}$,$a=\mu g$,$v=at$,即 $v=\mu gt$,联立以上各式可得:$W=mv^2$,故选项 C 正确.

9. **答案**:(1)35 N (2)6 J (3)停在 BC 上距离 C 端 0.3 m 处(或距离 B 端 0.2 m 处)

解析:(1)小球进入管口 C 端时,它与圆管上管壁有大小为 $F_N=2.5mg$ 的相互作用力,故对小球由牛顿第二定律得

$F_N+mg=F_n$

代入数据解得 $F_n=35$ N.

(2)在压缩弹簧过程中,速度最大时合力为零.

设此时小球离 D 端的距离为 x_0,则有 $kx_0=mg$

解得 $x_0=\frac{mg}{k}=0.1$ m

在 C 点,有 $F_n=\frac{mv_C^2}{r}$

解得 $v_C=\sqrt{7}$ m/s

由能量守恒定律得 $mg(r+x_0)=E_p+\left(E_{km}-\frac{1}{2}mv_C^2\right)$

代入数据解得 $E_{km}=6$ J.

(3)小球从 A 点运动到 C 点过程中,由动能定理得

$mgh-\mu mgs=\frac{1}{2}mv_C^2-0$

代入数据解得 B、C 间距离 $s=0.5$ m

小球与弹簧作用后返回 C 处动能不变,小球的动能最终消耗在与 BC 水平面相互作用的过程中.

设小球与弹簧作用后在 BC 上运动的总路程为 s',由能量守恒定律得

$\mu mgs'=\frac{1}{2}mv_C^2$

代入数据解得 $s'=0.7$ m

故最终小球在 BC 上距离 C 为 $0.5\text{ m}-(0.7\text{ m}-0.5\text{ m})=0.3$ m(或距离 B 端为 $0.7\text{ m}-0.5\text{ m}=0.2$ m)处停下.

10. **答案**:(1)2 s (2)24 J

解析:(1)物体刚放上传送带时受到沿斜面向下的滑动摩擦力,由牛顿第二定律得:

$mg\sin\theta+\mu mg\cos\theta=ma_1$

设物体经时间 t_1 加速到与传送带同速,则

$v=a_1t_1,x_1=\frac{1}{2}a_1t_1^2$

代入数据解得:$a_1=10\text{ m/s}^2,t_1=1\text{ s},x_1=5$ m

设物体与传送带同速后再经过时间 t_2 到达 B 端,因 $mg\sin\theta>\mu mg\cos\theta$,故当物体与传送带同速后,物体将继续加速,即 $mg\sin\theta-\mu mg\cos\theta=ma_2$

$L-x_1=vt_2+\frac{1}{2}a_2t_2^2$

代入数据解得:$t_2=1$ s

故物体由 A 端运动到 B 端的时间

$t=t_1+t_2=2$ s.

(2)物体与传送带间的相对位移

$x_{相}=(vt_1-x_1)+(L-x_1-vt_2)=6$ m

故 $Q=\mu mg\cos\theta x_{相}=24$ J.

11. **答案**:(1)4 s (2)0.3 m 1.2 m

解析:(1)赛车由 A 到 B 过程中克服摩擦力做功产生的热量 $Q=fL$

根据能量守恒定律得

$$Pt=2mgR+\frac{1}{2}mv_C^2+Q$$

代入数据联立解得 $t=4$ s.

(2)赛车由 A 到 C 过程中根据能量守恒定律得

$$Pt_0=\frac{1}{2}mv_C'^2+Q+2mgR_0$$

赛车过 C 点后做平抛运动,有

$$2R_0=\frac{1}{2}gt^2,x=v_C't$$

联立解得 $x^2=-16R_0^2+9.6R_0$

当 $R_0=0.3$ m 时 $x_{max}=1.2$ m.

12. **答案**:(1)$\frac{4}{15}mgR$ (2)见解析 (3)$\frac{\sqrt{3}}{2}mgR$

解析:(1)小球离开 O 点做平抛运动,设初速度为 v_0,由平抛运动知识得

$$R\cos 37°=v_0t$$

$$R\sin 37°=\frac{1}{2}gt^2$$

解得 $v_0=\sqrt{\frac{8}{15}gR}$

由机械能守恒得 $E_p=\frac{1}{2}mv_0^2=\frac{4}{15}mgR$.

(2)设落点与 O 点的连线与水平方向的夹角为 θ,小球做平抛运动,有

$$R\cos\theta=v_0t$$

$$R\sin\theta=\frac{1}{2}gt^2$$

位移方向与圆弧垂直 $\tan\theta=\dfrac{\frac{1}{2}gt^2}{v_0t}=\dfrac{gt}{2v_0}$

设速度方向与水平方向的夹角为 α

$\tan\alpha=\frac{gt}{v_0}=2\tan\theta$

所以小球不能垂直击中圆弧.

(3)设落点与 O 点的连线与水平方向的夹角为 θ,小球做平抛运动,有

$R\cos\theta=v_0t$

$R\sin\theta=\frac{1}{2}gt^2$

由动能定理得 $mgR\sin\theta=E_k-\frac{1}{2}mv_0^2$

解得 $E_k=mgR\left(\frac{3}{4}\sin\theta+\frac{1}{4\sin\theta}\right)$

当 $\sin\theta=\frac{\sqrt{3}}{3}$ 时,$E_{kmin}=\frac{\sqrt{3}}{2}mgR$.

获取更多初高中教辅电子书资源，咨询微信：13352881947